



# **Universitat Jaume I**

**Escola Superior de Tecnologia i Ciències Experimentals**

**Grau en Enginyeria Química**

## ***Diseño y dimensionado del pretratamiento con desodorización de una EDAR***

### **Trabajo Fin de Grado**

Autora: Lucía Navarro López

Tutora: María José Orts Tari

Castellón, 22 de septiembre de 2015



# Índice



## ÍNDICE GENERAL

1. Índice general
2. Memoria
  1. Objeto
  2. Alcance
  3. Antecedentes
  4. Normas y referencias
  5. Definiciones y abreviaturas
  6. Requisitos de diseño
  7. Análisis de soluciones
  8. Resultados finales
  9. Planificación
  10. Orden de prioridad entre los documentos básicos
3. Anexos
  1. Documentos de partida
  2. Cálculos
  3. Gestión de residuos
  4. Seguridad y salud
  5. Especificaciones técnicas de equipos
4. Planos
5. Pliego de condiciones
6. Estado de mediciones y presupuesto



Memoria





## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero mostrar mi agradecimiento a mi tutora del trabajo, María José Orts Tarí quiero agradecerle el apoyo y dedicación que me ha dado durante los últimos meses. Gracias a su tiempo, consejos y correcciones he podido llevar a cabo este trabajo satisfactoriamente. Agradezco también que me pusiera en contacto con el personal de las depuradoras de Castellón y Villarreal, concretamente a David Castell y María Luz Barrera que han colaborado resolviendo mis dudas y mostrándome “in situ” qué es una depuradora.

Al conjunto de profesores del departamento de Ingeniería Química de la Universidad Jaime I que me han formado durante estos años.

A Francisco Fabregat y Elena Más, que han estado todos estos meses dándome ánimos, teniendo mucha paciencia y ayudando en cuanto fuera posible.

A Eros, gracias por todas las noches que me ha acompañado mientras trabajaba.

A Gloria, mi hermana y amiga, porque siempre me ha ayudado y apoyado en todo lo que hago.

Y mi más profundo agradecimiento a mis padres, Jesús y Ana porque gracias a su extraordinario esfuerzo me han dado la oportunidad, que ellos lamentablemente no tuvieron, de poder cursar unos estudios universitarios. Gracias por darme la oportunidad de cumplir mi deseo de ser ingeniera. Os estaré eternamente agradecida.



## ÍNDICE

1.	Objeto .....	7
2.	Alcance .....	7
3.	Antecedentes.....	7
4.	Normas y referencias .....	7
4.1.	Disposiciones legales y normas aplicadas: .....	7
4.2.	Bibliografía .....	9
4.3.	Programas de cálculo .....	10
4.4.	Plan de gestión de la calidad aplicado durante la redacción del proyecto: .....	10
5.	Definiciones y abreviaturas .....	10
6.	Requisitos de diseño .....	11
6.1.	Documentación básica para la redacción del proyecto .....	11
6.2.	Características del agua a tratar .....	11
7.	Análisis de soluciones .....	12
7.1.	Pretratamiento .....	12
7.1.1.	Sistema de bombeo .....	13
7.1.2.	Sistema de desbaste .....	13
7.1.3.	Tamices.....	17
7.1.4.	Desarenador .....	21
7.1.5.	Desengrasador .....	25
7.1.6.	Desarenado-Desengrasado.....	26
7.1.7.	Generación de residuos.....	27
7.2.	Desodorización .....	30
7.2.1.	Adsorción .....	30
7.2.2.	Biofiltración.....	34
7.2.3.	Incineración catalítica regenerativa .....	38
7.2.4.	Oxidación con ozono por vía húmeda .....	40
7.2.5.	Absorción física e oxidación química .....	43
7.2.6.	Evaluación de las alternativa .....	46
7.2.7.	Desarrollo de la solución adoptada.....	47
8.	Resultados finales .....	53
8.1.	Adecuación del terreno .....	53

8.1.1.	Movimiento general de tierras .....	53
8.1.2.	Cimentación del edificio de pretratamiento.....	53
8.2.	Obra civil .....	53
8.3.	Pretratamiento .....	54
8.3.1.	Obra de llegada.....	54
8.3.2.	Canal de entrada al edificio .....	54
8.3.3.	Sistema de bombeo.....	54
8.3.4.	Sistema de desbaste .....	55
8.3.5.	Tamices.....	55
8.3.6.	Desarenador-Desengrasador.....	55
8.3.7.	Retirada de residuos.....	55
8.4.	Desodorización .....	56
8.4.1.	Tipo de carbón seleccionado .....	56
8.4.2.	Condiciones de desodorización .....	58
8.5.	Instalación eléctrica .....	65
8.5.1.	Centro de transformación .....	65
8.5.2.	Grupo electrógeno .....	65
8.5.3.	Fuerza en baja tensión .....	65
8.5.4.	Líneas de alimentación .....	66
8.5.5.	Instalación general de tierras .....	67
8.6.	Tuberías y conducciones.....	67
9.	Planificación .....	68
9.1.	Calendario y jornada laboral .....	68
9.2.	Plazo de ejecución .....	69
10.	Orden de propiedad entre los documentos básicos.....	70

TABLAS

Tabla 1. Caudales del agua a tratar	11
Tabla 2. Cargas contaminantes del agua a tratar	12
Tabla 3. tipos de rejillas	14
Tabla 4. Ventajas y desventajas de la adsorción con carbón activo	33
Tabla 5. Características de los distintos tipos de biofiltros (Adaptado de Swanson et al. 1997)	36
Tabla 6. Ventajas y desventajas de la biofiltración	38
Tabla 7. Ventajas y desventajas de la incineración	40
Tabla 8. Ventajas y desventajas de la oxidación con ozono por vía húmeda	42
Tabla 9. Ventajas y desventajas de la absorción y oxidación química	46
Tabla 10. Especificaciones carbón vapor	57
Tabla 11. Potencial de las principales fuentes de malos olores	59
Tabla 12. Producción de olores (UOE/m <sup>2</sup> de superficie en contacto líquido-aire/hora)	61
Tabla 13. Localización y número de tomas	62
Tabla 14. características tuberías	67
Tabla 15. Características canales	67
Tabla 16. Plan de construcción	69

FIGURAS

Figura 1. Ejemplo de diagrama de pretratamiento	13
Figura 2. Clasificación de rejillas en función de la dirección de flujo	14
Figura 3. tipos de perforaciones en tamices	18
Figura 4. Ejemplo dimensionado de Elementos y características del tamiz estático	19
Figura 5. Esquema de funcionamiento del tamiz rotativo	20
Figura 6. Elementos del tamiz rotativo	21
Figura 7. Esquema de funcionamiento de un desarenador de flujo horizontal	23
Figura 8. Esquema funcionamiento de un desarenador de tipo horizontal	24
Figura 9. Vista de la sección transversal de un desarenador-desengrasador	26
Figura 10. Esquema de un tornillo sin fin	28
Figura 11. Esquema de una instalación de adsorción con carbón activo	31
Figura 12. Esquema de una instalación de desodorización biológica.	34
Figura 13. Esquema instalación catalítica regenerativa	39
Figura 14. Oxidador con ozono por vía húmeda	42
Figura 15. Esquema de una instalación de desodorización por vía química en dos fases	44
Figura 16. Esquema de una instalación de desodorización por vía química en tres fases	45
Figura 17. Representación esquemática de los principales grupos superficiales que pueden encontrarse en un carbón.	50
Figura 18. Diferentes configuraciones en función del pH	51



## 1. OBJETO

El objeto de este proyecto es el estudio y diseño del edificio de pretratamiento con su desodorización de una estación depuradora de aguas residuales para una población de 20000 habitantes. Las aguas a tratar en esta EDAR son de origen urbano.

## 2. ALCANCE

El proyecto que se presenta a continuación tiene como objeto el diseño y dimensionamiento del pretratamiento de una EDAR con desodorización.

Se centrará en dos puntos básicos:

- Diseño y dimensionado del edificio de pretratamiento de una estación depuradora de aguas residuales urbanas para un municipio con una población creciente.
- Diseño y dimensionado de dicho edificio de pretratamiento.

## 3. ANTECEDENTES

El presente proyecto se realiza como Trabajo de Fin de Grado para la obtención del título de Graduado en Ingeniero Químico en la Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales de la Universidad Jaime I en Castellón.

## 4. NORMAS Y REFERENCIAS

### 4.1. DISPOSICIONES LEGALES Y NORMAS APLICADAS:

Por lo que a normativa respecta, para la redacción del Anteproyecto y ejecución de las obras regirán, los siguientes pliegos, normas y reglamentos:

- Ley 2/1989, el 3 de marzo, de la Generalitat Valenciana de Impacto Ambiental y su desarrollo en el Reglamento 162/90 estipulado por Real Decreto el 15 de octubre de 1990.
- Ley 6/1991, del 27 de marzo, de la Generalitat Valenciana de Carreteras.
- Ley 2/1992, del 26 de marzo, de la Generalitat Valenciana de Aguas Residuales.
- Reglamento de Actividades Molestas, Nocivas y Peligrosas. Decreto 2.414/1961 de Presidencia del Gobierno.
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para la Recepción de Cementos, en adelante RC-03.
- Pliego General de fabricación, transporte y montaje de tuberías de hormigón de la Asociación Técnica de Derivados del Cemento.
- Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico "DB-HR Protección frente al ruido" del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

- El Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la “Instrucción de hormigón estructural (EHE-08)
- Norma de Construcción Sismorresistente: Parte General y Edificación (NCSR-02) R.D. 997/2002 de 27 de septiembre.
- Normas UNE vigentes, del Instituto Nacional de Racionalización y Normalización, que afecten a los materiales y obras del presente anteproyecto.
- Normas tecnológicas de edificación NTE (Estructuras, Fachadas, Particiones, Revestimientos, Instalaciones, Acondicionamiento del terreno, Cimentaciones, Cubiertas).
- Orden Ministerial, de 31 de agosto de 1987, por la que se aprueba la instrucción 8.3-ic sobre señalización, balizamiento, defensa, limpieza y terminación de obras fijas en vías fuera de poblado.
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias, modificado según Real Decreto 560/2010, de 7 de mayo.
- Reglamento electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Complementarias (Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto) (O.M. Industria y Energía, 13/1/88, BOE 26/1/88) (Resolución, D.G. Innovación Industrial, y Tecnológica, 18/1/88, BOE 19/2/88) (O.M. Industria y Energía, 13/1/88, BOE 22, 26/1/88) (R.D. 2295/1985, 9/10/85) (O.M. Industria y Energía, 5/4/84, BOE 4/6/84) (O.M. Industria y Energía, 11/7/83, BOE 22/7/83) (O.M. Industria y Energía, 30/7/81, BOE 13/8/81) (O.M. Industria y Energía, 19/12/77, BOE 26/1/78) (O.M. Industria y Energía, 19/12/77, BOE 13/1/78) (Decreto 2413/1973, 20/9/73, BOE 242, 9/10/73) (O.M. Industria, 31/10/73) (O.M. Industria, 29/7/98, BOE 25/9/98, Adaptación de la Instrucción MIBT 026)
- Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09.
- REAL DECRETO 3275/1982 de 12 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación y sus posteriores instrucciones técnicas complementarias (Orden de 6 de julio de 1984 por la que se aprueban las instrucciones técnicas complementarias (MIE-RAT), Orden de 18 de octubre de 1984, Orden de 27 de noviembre de 1987, Orden de 23 de junio de 1988, Orden de 16 de abril de 1991, Orden de 10 de marzo de 2000).
- Reglamento de Verificaciones Eléctricas y Regularidad en el Suministro de Energía Eléctrica, aprobado por Decreto 12/3/1954, R.D. 1075/1986 de 2/5/86, R.D. 724/1979 de 2/2/79.
- Normas particulares de Hidroeléctrica Española, S.A.
- Real Decreto Legislativo 1/1995, de 24 de marzo, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley del Estatuto de los Trabajadores.



- REAL DECRETO 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Ley 31/1995 de 8 de Noviembre: Prevención de riesgos laborales.
- R.D. 39/1997 de 17 de Enero, desarrollado por la Orden de 27 de Junio que aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
- R.D. 1215/1997 de 18 de Julio: Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización de los trabajadores de los equipos de trabajo.
- R.D. 1627/1997 de 24 de Octubre: Disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de Construcción.
- Otros Reglamentos y Órdenes en vigor sobre seguridad e higiene del trabajo en la Construcción y Obras Públicas.
- Extracto de la Ley 8/1.988 de 7 de Abril sobre infracciones y sanciones de Orden Social.

#### 4.2. BIBLIOGRAFÍA

INGENIERÍA DE AGUAS RESIDUALES. Tratamiento, vertido y reutilización. Metcalf & Eddy. Ed. Mc.Graw-Hill (1998).

DEPURACIÓN Y DESINFECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES (5º Ed.). Aurelio Hernández Muñoz. Ed. Canales y Puertos Colegio de Ingenieros de Caminos (2001)

MANUAL DE DISEÑO DE ESTACIONES DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES. Aurelio Hernández Lehmann

MANUAL DEL CARBÓN ACTIVO. Máster en ingeniería del agua. E. U. Politécnica. Universidad de Sevilla

OLORES EN INSTALACIONES DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES. Jornada control y solución a la contaminación ambiental por olores. Canal Isabel II. J.A.Pradana. Noviembre 2009

CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE CAPTACIÓN Y DESODORIZACIÓN DE AIRE EN ESTACIONES DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES. Jorge E. Chamorro Alonso

Revista “Ingeniería Química” Abril 2000.

Revista “Ambientum” Marzo 2003

GEDAR - [www.gedar.com](http://www.gedar.com)

Precios de Obra Civil en el entorno de Castellón - [www.generadordeprecios.info](http://www.generadordeprecios.info)

#### 4.3. PROGRAMAS DE CÁLCULO

Los programas utilizados para el desarrollo de este proyecto han sido:

Word, Excel, AutoCAD, Cype y Presto

#### 4.4. PLAN DE GESTIÓN DE LA CALIDAD APLICADO DURANTE LA REDACCIÓN DEL PROYECTO:

Todos los materiales que se empleen en las obras deberán cumplir las condiciones que se establezcan en el anexo de este proyecto. Cualquier trabajo que se realice con materiales no ensayados, será considerado como defectuoso, o incluso, rechazable.

Se establecerá a pie de obra el almacenaje o ensilado de los materiales, con la suficiente capacidad y disposición conveniente para que pueda asegurarse el control de calidad de los mismos, con el tiempo necesario para que sean conocidos los resultados de los ensayos antes de su empleo en obra y de tal modo protegidos que se asegure el mantenimiento de sus características y aptitudes para su empleo en obra.

### 5. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

- Adsorbato: Sustancia que se pega (adsorbe) en la superficie.
- Adsorbente: Superficie sobre la que sucede la adsorción.
- Caudal máximo ( $Q_{\max}$ ) es el valor máximo de caudal que accede a la EDAR, obtenido a partir de las series estadísticas de datos y expresado en  $\text{m}^3/\text{s}$
- Caudal mínimo ( $Q_{\min}$ ) es el caudal ligado a épocas de sequia, expresado en  $\text{m}^3/\text{s}$
- Caudal punta ( $Q_{\text{punta}}$ ) es el caudal máximo que podrá soportar la EDAR, es necesario estimar el caudal de punta para poder sobredimensionar la planta depuradora ya que se producen picos en la entrada del caudal de agua para asegurar el correcto funcionamiento de dicha planta.
- Compuestos orgánicos refractarios: son aquellos que se encuentran presentes en la aguas residuales, domesticas, industriales o de servicios y que por constitución química no son susceptibles de que los microorganismos en el digestor aerobio la aprovechen para obtener energía.  
Algunos compuestos de este tipo son: aceites minerales, gasolinas, solventes orgánicos sintéticos, etc.
- COV's: compuestos orgánicos volátiles
- Sistema de colectores unitario: las aguas residuales y pluviales se transportan en el mismo conducto. Es el sistema más utilizado por razones económicas y de

mantenimiento, pero suele requerir grandes estructuras hidráulicas así como estructuras especiales.

- Sistema de colectores separativo: las aguas residuales y pluviales se transportan en conductos diferentes e independientes. Tiene una clara ventaja en la uniformidad de caudal y concentración que entra en la planta depuradora, pero en cambio implica mayor inversión de construcción y mantenimiento.

## 6. REQUISITOS DE DISEÑO

### 6.1. DOCUMENTACIÓN BÁSICA PARA LA REDACCIÓN DEL PROYECTO

En la ejecución del presente proyecto se han asumido los datos, bases y especificaciones contenidas en la documentación emitida por la Consellería de Medi Ambient, Aigua, Urbanisme i Habitatge de la Comunidad Valenciana que a continuación se cita:

- Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares para del Proyecto titulado “Diseño y dimensionamiento del pretratamiento de una EDAR con desodorización”
- “Diseño y dimensionamiento del pretratamiento de una EDAR con desodorización”

### 6.2. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA A TRATAR

Los datos en cuanto a caudales y cargas de diseño que sirven para dimensionar el edificio de pretratamiento y su desodorización para 20000 habitantes y una vigencia de 25 años son:

**TABLA 1. CAUDALES DEL AGUA A TRATAR**

<b>Caudales</b>	<b>m<sup>3</sup>/h</b>
<b>Caudal medio</b>	258.62
<b>Caudal de diseño</b>	206.90
<b>Caudal máximo</b>	646.55
<b>Caudal punta</b>	465.52
<b>Caudal mínimo</b>	77.58

Dicho cálculo puede consultarse en el anexo, en el apartado cálculos.

Se considera que el caudal de las aguas residuales urbanas tendrán las características habituales de contaminación media. En la siguiente tabla se presentan dichas características, obtenidas del libro “depuración y desinfección de aguas residuales” de Aurelio Hernández Muñoz:

TABLA 2. CARGAS CONTAMINANTES DEL AGUA A TRATAR

Parámetro	Contaminación media (mg/L)
Sólidos totales	500
Sólidos en suspensión (SS)	300
Sólidos sedimentables totales	150
Sólidos disueltos totales	250
BDO <sub>5</sub> (a 20°C)	250
DQO	450
Nitrógeno total	50
Fósforo total	7
Cloruros	100
Grasas	20

## 7. ANÁLISIS DE SOLUCIONES

### 7.1. PRETRATAMIENTO

El pretratamiento es un conjunto de operaciones, fundamentalmente de tipo físico y mecánico que resulta indispensable en el tratamiento de aguas residuales ya que elimina elementos que por su naturaleza (grasas, aceites, etc.) o por su tamaño (ramas, latas, etc.) crearían problemas en los tratamientos posteriores (obstrucción de tuberías y bombas, depósitos de arenas, rotura de equipos,...)

Las piedras, arena, latas, etc. producen un gran desgaste de las tuberías y de las conducciones así como de las bombas. A la planta también llegan aceites y grasas de todo tipo, si estas grasas y aceites no son eliminados en el pretratamiento, hace que el tratamiento biológico se ralentice y el rendimiento de dicho tratamiento decaiga, obteniendo un efluente de baja calidad o encareciendo el proceso.

Por este motivo, es de crucial importancia un buen diseño del sistema de pretratamiento ya que podría bajar el rendimiento de toda la planta si no funciona de forma correcta.

En muchas ocasiones, para evitar los problemas ambientales derivados de la producción de olores, el pretratamiento está cubierto completamente ubicado en un edificio dotado de un sistema de extracción de aire y desodorización.

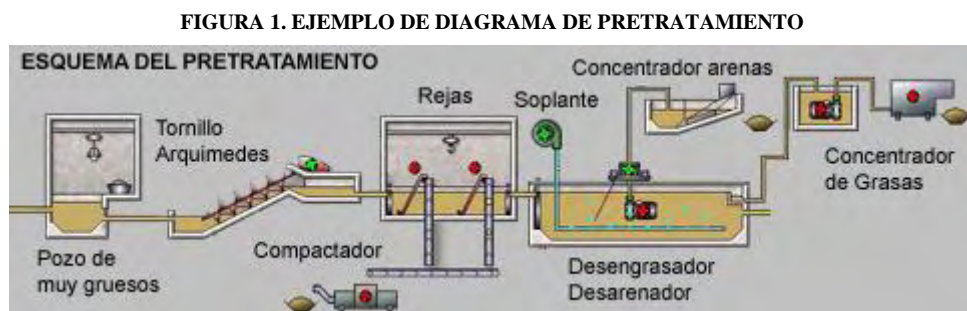
Las operaciones de pretratamiento que se incluyen en una EDAR, dependen de la calidad del agua bruta a tratar, de la procedencia de la misma, tipo de tratamientos posteriores e importancia de la instalación.

En este punto se desarrollarán las diferentes alternativas en el conjunto de operaciones que conforman el pretratamiento, que son:

- Sistema de bombeo

- Sistema de desbaste: consiste en la eliminación de sustancias de tamaño excesivo mediante rejillas.
- Tamices rotativo: Eliminación de partículas en suspensión
- Desarenado: Eliminación de arenas y sustancias densas en suspensión (gravas, partículas minerales y sustancias orgánicas no putrescibles)
- Desengrasado: Eliminación de grasas y otras sustancias que, por su densidad, quedan flotando en la superficie.
- Aliviadero de excedentes: Permite evitar sobrecargas de agua en exceso

En la siguiente figura se presenta un esquema del pretratamiento:



#### 7.1.1. SISTEMA DE BOMBEO

Se utiliza para impulsar el agua desde la arqueta de llegada hasta el canal donde comenzará el desbaste.

#### 7.1.2. SISTEMA DE DESBASTE

A las estaciones depuradoras llegan objetos de dimensiones macroscópicas tales como colillas, toallitas, trapos, piedras... que dada su naturaleza no es posible degradarlos en la propia depuradora y se hace necesaria su eliminación previa.

El desbaste se realizará a través de rejillas y tiene como objetivos:

- Evitar depósitos
- Evitar obstrucciones en conducciones
- Eliminar elementos que, por su tamaño, podrían dificultar y/o dañar los procesos posteriores

Se consigue así, evitar obstrucciones en canales, tuberías y conducciones en general; interceptar las materias que por sus excesivas dimensiones podría dificultar el funcionamiento de unidades posteriores (como el desarenado); y aumentar la eficiencia de tratamientos posteriores.

Puede decirse que, salvo excepciones, la instalación de rejillas es indispensable para cualquier depuradora, retirando al máximo las impurezas del agua para su eliminación directa.

#### 7.1.2.1. TIPOS DE REJAS

Las rejillas se pueden clasificar de múltiples formas:

##### 7.1.2.1.1. ABERTURA DE LAS BARRAS

En este caso, el desbaste se clasifica según la separación entre los barrotes de la reja en, que pueden ser finas, medias y gruesas tal y como se muestra en la siguiente tabla:

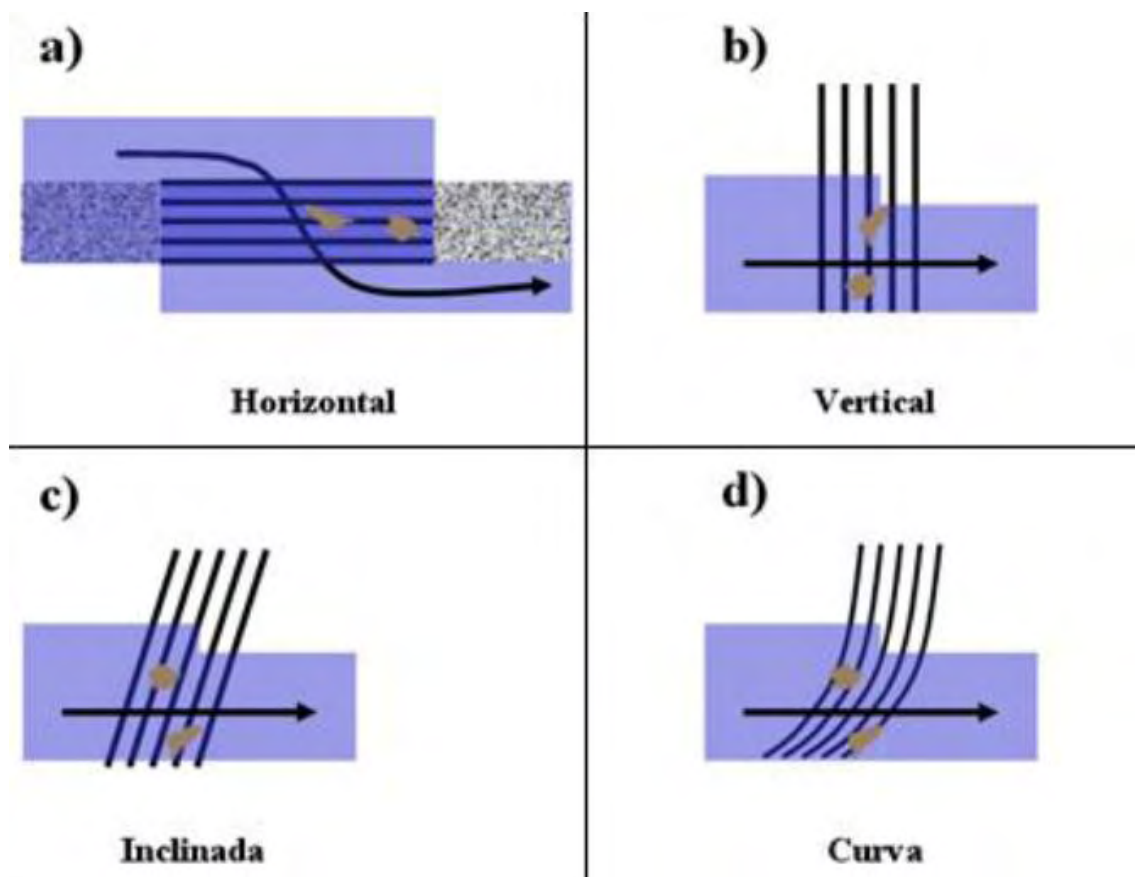
TABLA 3. TIPOS DE REJAS

Tipos de rejillas	Abertura entre barras (mm)
<b>Finas</b>	$D < 15$
<b>Medias</b>	$15 < D < 50$
<b>Gruesas</b>	$D > 50$

##### 7.1.2.1.2. DIRECCIÓN DE FLUJO

En la siguiente figura se muestran los tipos de rejillas en función de la dirección del flujo del agua con respecto al plano de la reja:

FIGURA 2. CLASIFICACION DE REJAS EN FUNCION DE LA DIRECCION DE FLUJO



#### 7.1.2.1.3. FUNCIONAMIENTO

Según su funcionamiento, las rejillas se pueden clasificar en:

- Fijas
- Móviles

#### 7.1.2.2. LIMPIEZA DE REJAS

Para la limpieza del material retenido en las rejillas se pueden emplear procedimientos manuales o automáticos, según la importancia de la estación y la cantidad de materias retenidas.

Según el criterio de limpieza, existen dos tipos de rejillas:

- Rejas de limpieza manual
- Rejas de limpieza automática

##### 7.1.2.2.1. REJAS DE LIMPIEZA MANUAL

Se emplean, frecuentemente, en pequeñas estaciones de bombeo de agua residual antes de las bombas. En las rejas de limpieza manual, su longitud no deberá exceder aproximadamente 3 m. Las barras que conforman la reja no suelen exceder los 10 mm de espesor.

Las rejas están constituidas por barrotes rectos soldados a unas barras de separación situadas en la cara posterior, y su longitud no debe exceder aquella que permita rastrillarla fácilmente con la mano. Van inclinados sobre la horizontal con ángulos entre 60-90°.

Con el objeto de proporcionar suficiente superficie de reja para la acumulación de basuras entre limpieza y limpieza, es necesario que la velocidad de aproximación del agua a la reja sea de unos 0,45 m/s a caudal medio. El área adicional necesaria para limitar la velocidad se puede obtener ensanchando el canal de la reja y colocando ésta con una inclinación más suave.

Conforme se acumulan basuras, obturando parcialmente la reja, aumenta la pérdida de carga, sumergiendo nuevas zonas a través de las cuales pasará el agua.

Las tareas a realizar en las rejas de limpieza manual son:

- Vigilar que no se acumulen muchos sólidos en la reja, para lo cual se debe limpiar con cierta periodicidad, este período varía de una planta a otra siendo la experiencia del encargado el que determine este período. Las razones de tener que limpiar las rejas con cierta frecuencia es para evitar que se pudran los sólidos orgánicos allí retenidos, dando lugar a malos olores.
- Vaciar la cuba de los sólidos con cierta regularidad, por los mismos motivos antes expuestos.
- Reparar y sustituir los barrotes que se hayan roto.

Esta zona también es de suelo muy resbaladizo, se debe andar con precaución para evitar caer en canal de desbaste o darse un golpe contra el suelo. Por tanto, se debe de limpiar esta zona cuando se comience a notar que el suelo se hace resbaladizo, usar zapatos con suela adecuada o poner en el suelo algún sistema antideslizante (mallazo de ferralla).

#### *Problemas derivados:*

Como la limpieza se hace periódicamente, se llega a un grado de colmatación de materia, que al ser eliminada puede provocar un aumento brusco de la velocidad de paso del agua a través de la reja, lo cual conlleva una menor retención de residuos y una disminución en el rendimiento. También existe el riesgo de estancamientos, o por descuidos, o por la llegada brusca de materias vegetales, pudiéndose dar también un desbordamiento. Con el objeto de evitar esto es necesario calcular ampliamente la superficie y la inclinación de la reja.

##### 7.1.2.2.2. REJA DE LIMPIEZA AUTOMÁTICA

La instalación de rejillas de limpieza automática, se realiza en la actualidad en instalaciones de pequeño y gran tamaño, no sólo con objeto de reducir el trabajo manual para la limpieza de las rejillas y eliminación de los residuos, sino también para evitar los reboses y desbordamientos que se producen por la obturación.

Este tipo de rejillas es fabricado por varias empresas especializadas y será el ingeniero que realiza el proyecto el que determine qué tipo de equipo va a instalar, las dimensiones del canal de la reja, el intervalo de variación en la profundidad del flujo en el canal, la separación entre barrotes y el método de control de la reja.

La principal ventaja de este tipo de reja, es que elimina los problemas de atascos y reducen el tiempo necesario para su mantenimiento. Una reja mecánica va normalmente protegida por una pre-reja de barrotes más espaciados (50-100 mm), prevista generalmente, para limpieza manual, pero que podrá ser también automática en el caso de instalaciones importantes, o si el agua bruta llega muy cargada de materias gruesas. De los distintos tipos de mecanismo, el más utilizado consiste en un peine móvil, que periódicamente barre la reja, extrayendo los sólidos retenidos para su evacuación.

Las rejillas pueden ser curvas o rectas, y a su vez la limpieza puede ser por la cara anterior o por la cara posterior, teniendo cada tipo de limpieza sus ventajas e inconvenientes:

- Las de limpieza anterior pueden sufrir posibles atascamientos cuando se depositan grandes sólidos, o gran cantidad de sólidos, al pie de la reja, provocando el bloqueo del mecanismo hasta que se elimine la obstrucción.
- Las de limpieza posterior no tienen este problema de obstrucción ya que las púas del peine, al desplazarse por detrás no están sujetas a bloquearse por formación de depósitos de materia al pie de la reja. Sin embargo, hay un mayor riesgo de rotura de los dientes ya que han de tener mayor longitud, y también existe el problema de que los sólidos que queden en retenidos en el rastrillo pueden ser



retornados al agua bruta, ya que la limpieza del rastrillo en este sistema se sitúa abajo de la reja.

El funcionamiento, generalmente discontinuo, del dispositivo de limpieza de la reja, puede automatizarse mediante:

- Temporización: Se establece la secuencia de funcionamiento del rastrillo mediante en reloj eléctrico de cadencia-duración regulable, en función del tiempo de funcionamiento diario calculado.
- Pérdida de carga: El dispositivo de limpieza se pone en marcha automáticamente cuando la pérdida de carga entre la zona anterior y la zona posterior de la reja, debido a su colmatación parcial, sobrepasa un valor establecido.
- Sistema combinado de temporización y pérdida de carga. Las rejillas deben ir equipadas con un dispositivo limitador de par, para que en caso de sobrecarga o de bloqueo se pongan fuera de servicio, evitando el deterioro de las mismas.

Además, deberán instalarse dos o más rejillas para que pueda quedar fuera de servicio una de ellas por bloqueo o por cuestiones de mantenimiento, sin tener que parar el desbaste. En caso de que solo hubiera una unidad instalada, será necesario establecer un canal de bypass con una reja de limpieza manual para ser usada en casos de emergencia. Dicho canal estará normalmente fuera de servicio impidiendo el flujo de agua a su través por medio de tabloncillos de cierre o por una compuerta cerrada.

#### 7.1.2.2.3. PERIODICIDAD DE LIMPIEZA

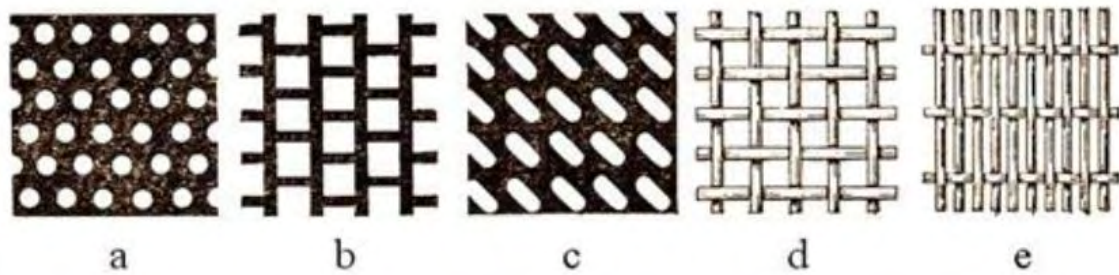
Los diseños más modernos incluyen la utilización de materiales resistentes a la corrosión tales como el acero inoxidable o los materiales plásticos. El automatismo del sistema limpiador puede ser regulado.

- Con intervalo de tiempo fijo: tienen la ventaja de ser más sencillas de funcionamiento y no es necesario personal especializado de mantenimiento. Ello, unido a que, graduando la duración del ciclo de limpieza con arreglo a las características especiales del agua residual tratada, se obtienen buenos resultados.
- Con intervalo de tiempo modificado en arreglo al grado de obstrucción de la rejilla lo cual implica un ahorro de energía, mayor cantidad de materia retenida y menor desgaste de maquinaria.

#### 7.1.3. TAMICES

Los tamices, al igual que las rejillas, son un método de eliminación por filtración de materiales sólidos mediante la colocación de un sistema discontinuo donde las discontinuidades en lugar de ser longitudinales (espacio entre rejillas) suelen ser bidimensionales mediante perforaciones efectuadas en una plancha (ver figura 3 a, b y c) o una malla trenzada (ver figura 3 d y e)

FIGURA 3. TIPOS DE PERFORACIONES EN TAMICES



En función del tamaño de luz de malla, se distinguen dos variantes:

- Macrotamizado: Se hace sobre chapa perforada o enrejado metálico con paso superior a 0,2 mm. Se utilizan para retener materias en suspensión, flotantes o semiflotantes, residuos vegetales o animales, ramas,... de tamaño entre 0,2 y varios milímetros.
- Microtamizado: Hecho sobre tela metálica o plástica de malla inferior a 100 micras. Se usa para eliminar materias en suspensión muy pequeñas contenidas en el agua de abastecimiento (Plancton) o en aguas residuales pretratadas. Estos tamices se incluirán en el pretratamiento de una estación depuradora en casos especiales:
  - o Cuando las aguas residuales brutas llevan cantidades excepcionales de sólidos en suspensión, flotantes o residuos.
  - o Cuando existen vertidos industriales importantes provenientes principalmente del sector alimentario (residuos vegetales, de matadero, semillas, cáscaras de huevo, etc.).

Los problemas que se encuentran más habitualmente en los tamices son derivados de una mala limpieza que conduce a su colmatación y desbordamiento al no ser capaz de tratar todo el agua que recibe, o también por un dimensionamiento escaso, con la consiguiente incapacidad de tratar el caudal de diseño. Uno de los enemigos principales de los tamices, son los pelos o las fibras finas que quedan enganchados en el tamiz con una parte aguas arriba y otra parte aguas abajo, en este caso, se requiere limpieza manual ya que acaban formando madejas de gran tamaño que obturan y dificultan los procesos posteriores.

Consisten en una lámina perforada o malla tejida, con una inclinación de más de  $70^\circ$  con respecto a la horizontal, aunque existen diseños en los que la lamina no es recta sino que presenta una cierta curvatura de manera que la pendiente en la zona inferior del tamiz es menor que en la superior. La alimentación se efectúa por la zona superior mientras que el desagüe tiene lugar por la zona inferior de la cara opuesta del tamiz, de forma que el desplazamiento del agua de alimentación favorece el arrastre de los sólidos retenidos en el tamiz y su eliminación por la zona inferior del mismo. La superficie de los tamices suele recubrirse de grasa con el funcionamiento, haciendo necesaria su eliminación periódica mediante medios mecánicos o con agua caliente a presión. El tamiz estático carece de accionamiento y por tanto no precisa de alimentación eléctrica.



### 7.1.3.2. TAMIZ ROTATIVO

Están constituidos por una lámina perforada formando un cilindro o tambor que gira en torno a su eje principal. La alimentación puede ser bien por la parte interna del tambor, o más comúnmente por la cara externa. El agua sin sólidos pasa el tambor mientras que los sólidos se quedan retenidos en la rejilla o tamiz que forma el tambor. El agua filtrada sale por un lateral del tambor pasando al siguiente tratamiento.

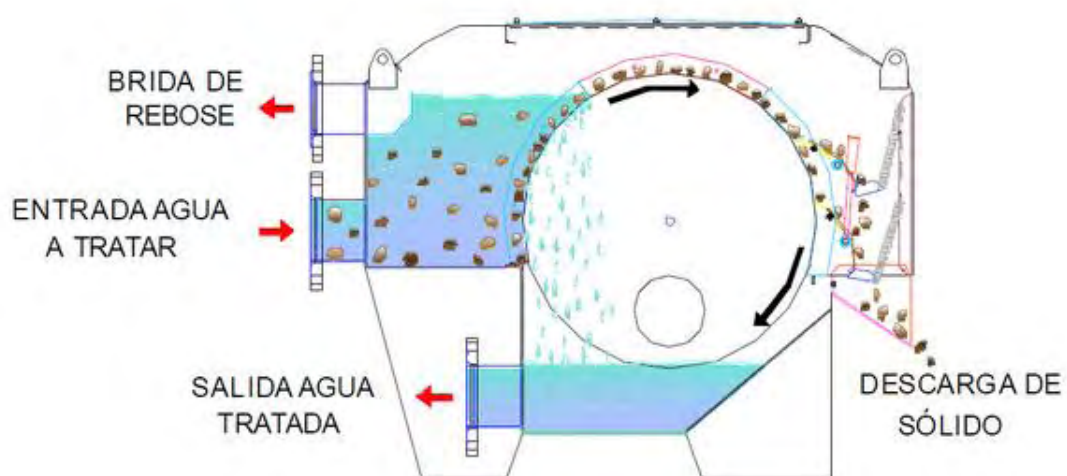
El accionamiento del tamiz es mecánico y gira a baja velocidad, lo que implica un consumo de energía pequeño.

Consta esencialmente de los siguientes elementos:

- Un tambor filtrante
- Un cuerpo de filtro, construido en acero inoxidable AISI-304, AISI-316 o AISI-430. En él se fija el tambor filtrante en su parte delantera mediante rodamientos. En la parte posterior dispone de un depósito receptor del líquido a tamizar.
- Una raqueta limpiadora que elimina los sólidos depositados en la superficie del tambor filtrante.
- Un grupo de accionamiento: motorreductor o motovariador reductor acoplado directamente sobre el eje del tambor filtrante.
- Un depósito receptor del líquido filtrado construido en chapa de acero al carbono o inoxidable. En muchos casos la evacuación del filtrado se hace por el canal.
- Un tubo de lavado, situado en el interior del tambor filtrante, provisto de toberas que proyecta agua a presión sobre la cara interior del cilindro efectuando una completa limpieza

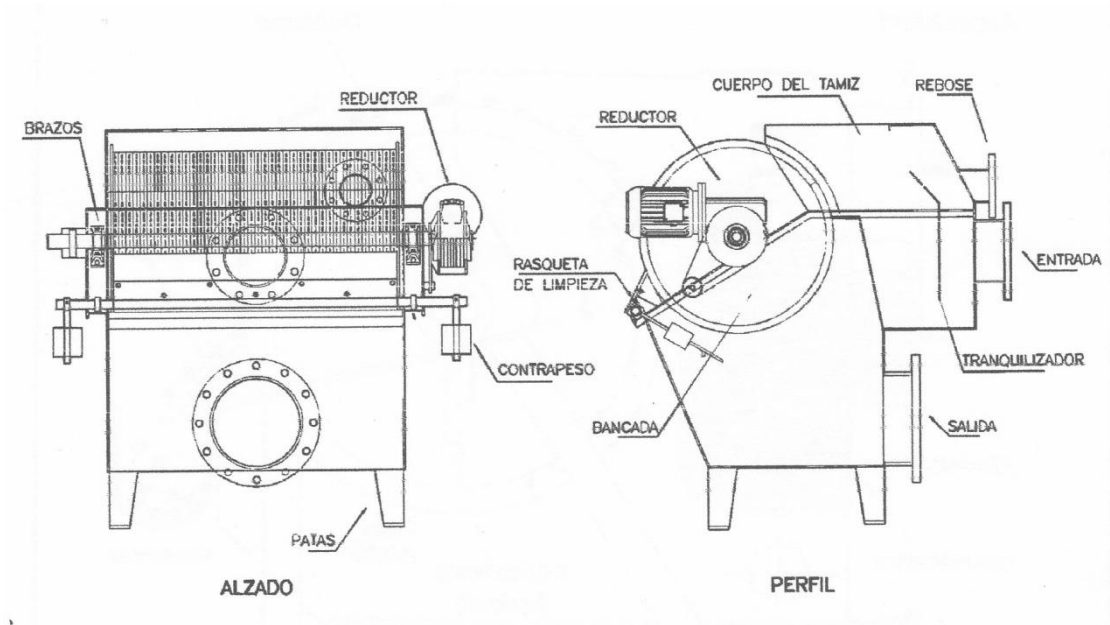
El esquema de funcionamiento puede verse en la figura siguiente:

**FIGURA 5. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL TAMIZ ROTATIVO**



En la siguiente figura se presentan las diferentes partes de un tamiz rotativo:

**FIGURA 6. ELEMENTOS DEL TAMIZ ROTATIVO**



#### 7.1.3.3. TAMIZ AUTOMÁTICO

Pueden estar formados por un sistema fijo de retención de sólidos (placa perforada o malla trenzada) sobre la que se desplaza un sistema automático de limpieza (cepillo, rasqueta, etc.) o un sistema móvil de retención (cadena articulada) que arrastra los sólidos retenidos hasta el sistema de eliminación de los mismos.

#### 7.1.4. DESARENADOR

Su función es separar los elementos pesados en suspensión (arenas, arcillas, limos), que lleva el agua residual y que perjudican el tratamiento posterior, generando sobrecargas en fangos, depósitos en las conducciones hidráulicas, tuberías y canales, abrasión en rodets de bombas y equipos, y disminuyendo la capacidad hidráulica. La retirada de estos sólidos se realiza en depósitos, donde se remansa el agua, se reduce la velocidad del agua, aumentando la sección de paso. Las partículas en suspensión, debido al mayor peso, se depositan en el fondo del depósito denominado desarenador.

El término “arena” empleado en este proyecto corresponde a partículas que poseen las siguientes características:

- Tienen superficie definida
- No son putrescibles
- Tienen velocidades de sedimentación superiores a la de los sólidos órganos putrescibles

Esta tercera característica diferencial constituye el principio de funcionamiento de los desarenadores.

El procedimiento utilizado, para proceder a la separación de la arena del agua residual, consiste en provocar una reducción de la velocidad del agua por debajo de los límites de precipitación de los granos de las arenas, pero por encima de los de sedimentación de materia orgánica. De no cumplirse esta condición, se producirían depósitos de materia, susceptibles de fermentación, que producirían malos olores y serían de incomodo manejo.

Por lo tanto, una partícula sumergida en el agua y partiendo de un estado de reposo, se verá sometida a la fuerza de la gravedad generándose un movimiento uniformemente acelerado, pasando de velocidad cero a una velocidad creciente, pero aparece, por la densidad del fluido, una fuerza de rozamiento proporcional al cuadrado de la velocidad de desplazamiento. Llegará un momento en el que la fuerza gravitatoria se neutralizara con la fuerza de rozamiento, anulando la aceleración y generando un movimiento de velocidad constante. A esta velocidad se le llama velocidad de caída de la partícula.

#### 7.1.4.1. ASPECTOS RELACIONADOS CON EL DISEÑO

El estudio teórico del desarenador está relacionado con los fenómenos de sedimentación de partículas granuladas no floculantes. Las partículas sedimentan independientemente unas de otras, no existiendo interacción significativa entre las más próximas. El estudio de las velocidades de sedimentación se puede realizar utilizando las fórmulas de Stokes (en régimen laminar), de Newton (en régimen turbulento) y de Allen (en régimen transitorio).

Deben aplicarse algunas correcciones, para tener en cuenta:

- Factor de esfericidad (forma de las partículas)
- Concentración de sólidos en suspensión sólo en el caso de que sobrepase el 5%
- Velocidad de flujo horizontal
- Temperatura del agua residual

Las aguas residuales contienen materias orgánicas de granulometrías importantes, que sedimentan con la misma velocidad que las partículas de arena y que no interesa su extracción. Este problema se evita con el llamado “barrido o limpieza de fondo”. Se explica por el hecho de que existe una velocidad crítica del flujo a través de la sección, por encima de la cual las partículas de un tamaño y densidad determinadas, una vez sedimentadas, pueden de nuevo ser puestas en movimiento y reintroducidas en la corriente. Para partículas de 0,200mm de diámetro y peso específico de 2,65, la velocidad crítica de barrido es 0,25m/s, adoptándose en la práctica a efectos de diseño una velocidad de 0,30m/s. Manteniendo esta velocidad, se consigue que las arenas extraídas tengan un contenido de materia orgánica menor del 5%.

Los distintos tipos de áridos pueden definirse en función de su diámetro

- Grava  $> 3 \text{ mm}$
- Arena  $> 0.05 \text{ mm}$
- Limo  $> 0.01 \text{ mm}$
- Arcilla  $< 0.01 \text{ mm}$

La velocidad teórica de caída puede verse afectada por los siguientes fenómenos:

- Volumen de las partículas importante, desplazándose en sentido contrario al ascensional.
- Falta de esfericidad de la partícula
- Coeficiente de rozamiento variando con la orientación de la partícula en su caída.
- Composición no homogénea de las partículas

#### 7.1.4.2. TIPOS DE DESARENADORES

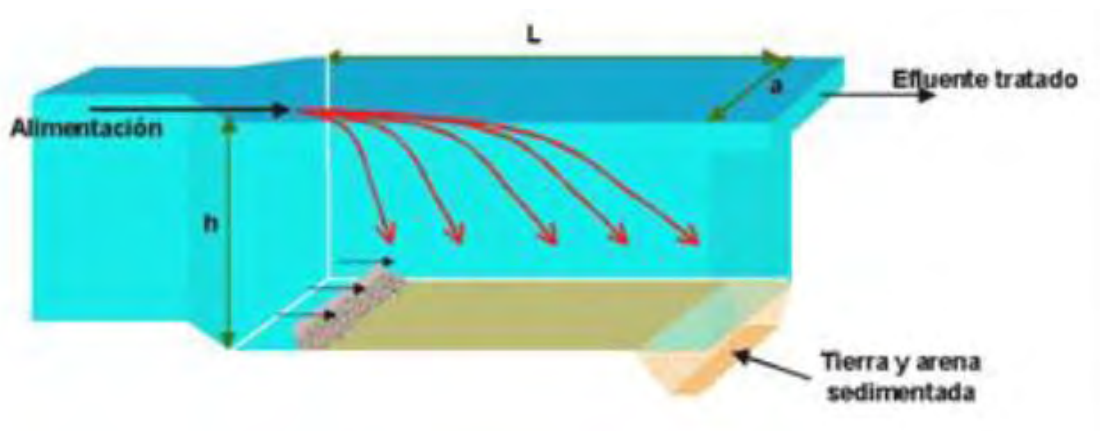
##### 7.1.4.2.1. DESARENADOR DE FLUJO HORIZONTAL

Es el tipo más corriente, constituido por un estrechamiento en la sección del canal de pretratamiento, de forma que se reduzca la velocidad de la corriente a valores inferiores a los 20-40 cm/s, en desarenadores estáticos, y entre 2,5 -15 cm/s en desarenadores aireados.

La eficacia depende de su superficie horizontal y de la velocidad de caída de las partículas en suspensión. La profundidad, sección transversal y velocidad horizontal de circulación tienen importancia secundaria.

El principal inconveniente de este tipo de desarenador reside en el hecho de que la velocidad horizontal de circulación y el calado de la lámina de agua, al ser función del caudal afluente, sufren continuas variaciones en el tiempo.

FIGURA 7. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN DESARENADOR DE FLUJO HORIZONTAL

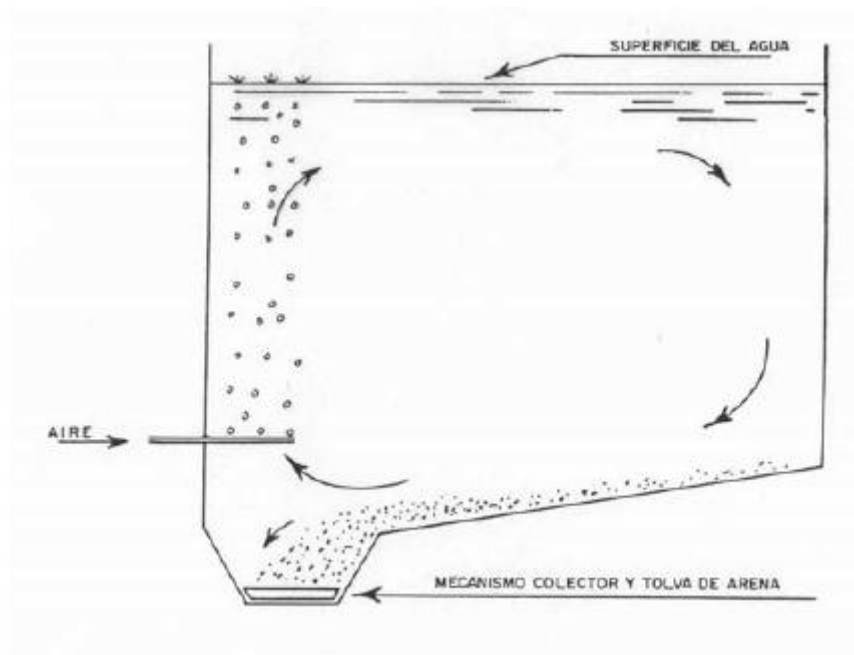


Una ventaja es un desarenador de tipo horizontal con inyección de aire ya que el aire inyectado provoca una rotación del líquido, como puede verse en la siguiente figura y crea una velocidad de barrido constante, perpendicular a la velocidad de paso, la cual mucho menos, puede entonces cariar sin que provoque ningún inconveniente. El aire inyectado además de su papel motor, favorece, por su efecto de agitación, la separación de las materias orgánicas que pueden quedar adheridas a las partículas de arena. Las principales ventajas del aireado son:

- El agua se airea, con lo que se evita o aminora la producción de olores.
- Rendimientos constantes para ampliar variaciones de caudal.
- Pérdidas de carga muy pequeñas.
- Las arenas extraídas tienen bajo contenido en materia orgánica, siempre que se controle adecuadamente el caudal de aire.
- Posibilidad de utilizarlo como desengrasador, cuando el contenido en grasas del agua bruta no es excesivo.

Los difusores de aire están situados en uno de los laterales de tanque, a una distancia de 0,5 y 0,9m sobre el suelo. Para el control hidráulico del elemento y para mejorar la eficacia en la eliminación de arenas se suelen utilizar deflectores tanto en la entrada de agua como en la salida de agua.

**FIGURA 8. ESQUEMA FUNCIONAMIENTO DE UN DESARENADOR DE TIPO HORIZONTAL**



Las arenas extraídas del desarenador serán bombeadas al concentrador de arenas.



#### 7.1.4.2.2. DESARENADOR DE FLUJO VERTICAL

Se diseñan mediante tanques que tienen una velocidad ascensional del agua tal que permite la decantación de las arenas pero no caen las partículas orgánicas. Suelen ser depósitos tronco-cilíndricos con alimentación tangencial.

#### 7.1.5. DESENGRASADOR

Son importantes los volúmenes de grasas que se vierten en los colectores, procedentes de garajes, hogares y calefacciones, lavaderos. Las grasas han creado muchos problemas en la depuración de aguas residuales, especialmente en los siguientes elementos y procesos:

- En rejillas finas causar obstrucciones que aumentan gastos de conservación.
- En decantadores forman una capa superficial que dificulta la sedimentación al atraer hacia la superficie pequeñas partículas orgánicas.
- En la depuración por el sistema de fangos activados dificultan la correcta aireación disminuyendo el coeficiente de transferencia al 55-70% al subir las grasas de 0 a 70mg/l, y participan en la producción del fenómeno “bulking”.
- Perturban el proceso de digestión de lodos.

Las cantidades de grasas incorporadas en las aguas residuales son muy variables, pero, para aguas urbanas pueden considerarse unas cifras de 24g por habitante y día, o bien el 28% de los sólidos en suspensión.

Las aguas residuales contienen las grasas de diferentes formas:

- Solubilizadas: es la forma más común de que se encuentren en el agua dada su baja solubilidad en la misma.
- Emulsionadas: formando pequeñas gotas rodeadas de agua, que dan lugar a suspensiones, en algunos casos, muy estables.
- Libres: formando gotas de tamaño medio y grande del orden de la micra.

Para la eliminación de grasas y aceites en el agua, es necesario que se encuentren no solubilizadas y romper las emulsiones para su mejor separación.

La separación de grasas y aceites se afecta mediante un proceso de flotación tal y como se muestra en la siguiente imagen, donde las gotas de grasa de entorno a 150µm ascienden con una velocidad comprendida entre 1 y 4mm/s. Las grasas y aceites son retirados de la superficie de la balsa de flotación mediante un sistema de rasquetas accionadas automáticamente. El agua retirada, con alto contenido de flotantes, es canalizada hasta un desnatador, sistema similar al desengrasador, pero que al tener que tratar un caudal menor, los tiempo de retención son mayores aumentando la eficiencia de eliminación de flotantes.

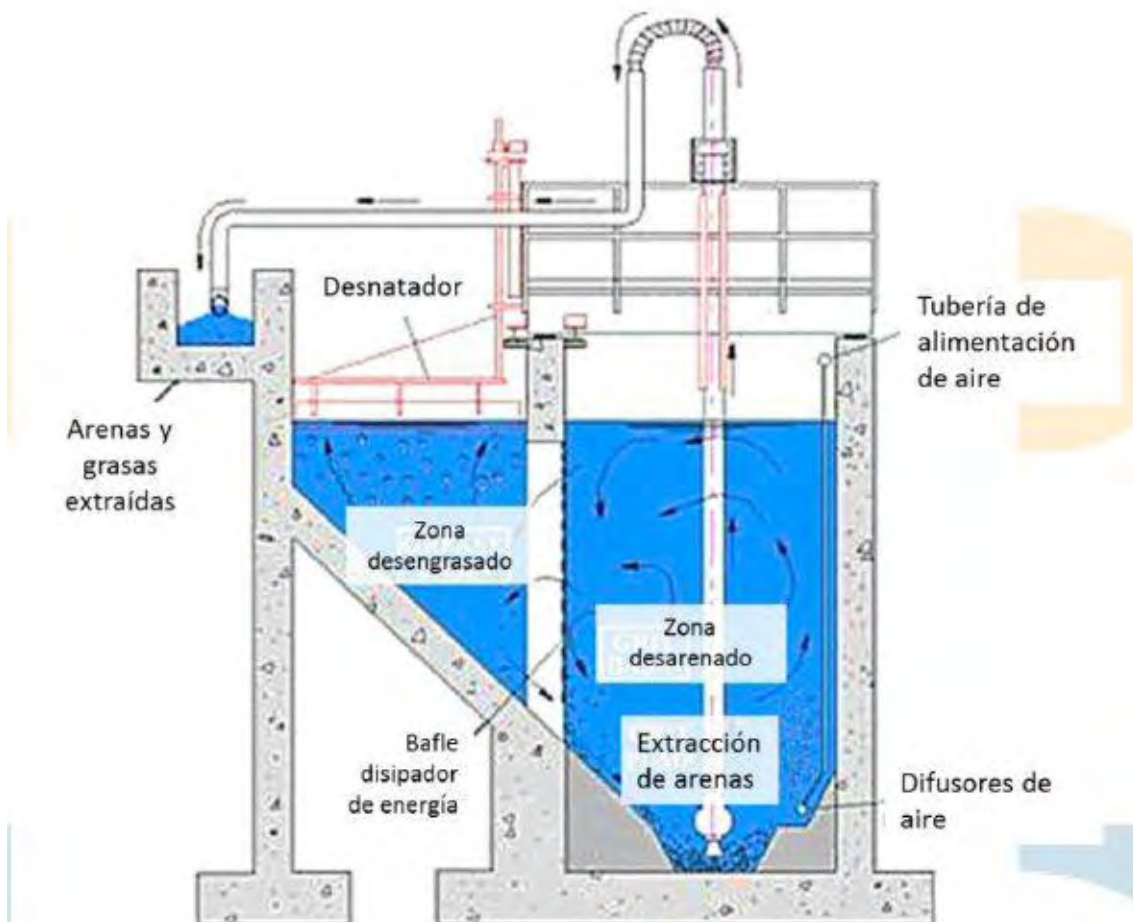
### 7.1.6. DESARENADO-DESENGRASADO

Analizando las interacciones que tienen lugar en un desarenador y desengrasador conjunto, nos encontramos con lo siguiente:

- Las velocidades de sedimentación de las arenas y de flotación de las partículas de grasa no se modifican por realizar el desarenado y el desengrasado en el mismo depósito. Ello es lógico si se considera la diferencia entre las densidades de la arena y de las grasas.
- El aire comprimido añadido para la desemulsión ayuda a impedir la sedimentación de las partículas de fango poco densas, por lo que la arena depositada en el fondo del desarenador estará más limpia.
- Las partículas de arena, al sedimentar, deceleran las velocidades ascensionales de las grasas, disponen así de más tiempo para ponerse en contacto entre sí durante el recorrido hacia la superficie, aumentando el rendimiento de la flotación de grasas.

Por lo tanto, realizar un desarenado y desengrasado conjunto conduce a resultados positivos en los rendimientos de ambos procesos, además al poder realizarse simultáneamente se consigue ahorro del volumen total necesario para realizar ambos procesos, adoptante, como determinante y único, el mayor volumen de los dos necesarios para cada uno de los procesos.

FIGURA 9. VISTA DE LA SECCION TRANSVERSAL DE UN DESARENADOR-DESENGRASADOR



### 7.1.7. GENERACIÓN DE RESIDUOS

#### 7.1.7.1. REJAS Y TAMICES

El volumen de residuos retenidos en el desbaste (rejas y tamices) varía de forma significativa de una estación depuradora a otra, siendo una partida difícil de evaluar si no se poseen datos reales de operación.

La cantidad de residuos depende fundamentalmente del tipo de reja o tamiz, de la separación entre barrotes, del caudal de agua residual, del tipo de colectores, de la situación geográfica de la instalación y de las características particulares de cada comunidad. En ausencia de datos reales, pueden utilizarse datos empíricos fruto de la experiencia recogida en muchas instalaciones.

En España se puede adoptar como valores normales los siguientes:

- Separación mayor de 40mm: de 2 a 3 litros/habitante por año.
- Separación entre 40 y 20mm: de 5 a 10 litros/habitante por año.
- Separación entre 20 y 3mm: de 15 a 25 litros/habitante por año.
- Separación entre 3 y 1mm: de 30 a 50 litros/habitante por año.

En el caso de redes unitarias, el volumen de residuos es muy variable debido a las lluvias y tormentas. El volumen también varía según la longitud de los colectores y redes de alcantarillado, o si existen vertidos industriales intermitentes o estacionales (tejidos, productos alimentarios, etc.)

En cuanto a la composición de los residuos es muy variable dependiendo de las características de los vertidos urbanos e industriales. Predominan los de origen orgánico, siendo normal la existencia de trapos, plásticos y demás útiles empleados con normalidad en las viviendas y pequeñas industrias urbanas. En todo caso los más inimaginables objetos se han encontrado en el desbaste: árboles, neumáticos, animales domésticos, traviesas de ferrocarril, etc.

En instalaciones importantes, se utilizan prensas hidráulicas especiales previas a su depósito en contenedores, de esta forma, además de reducir el volumen de los residuos, se disminuyen momentáneamente los olores producidos por la materia orgánica en descomposición.

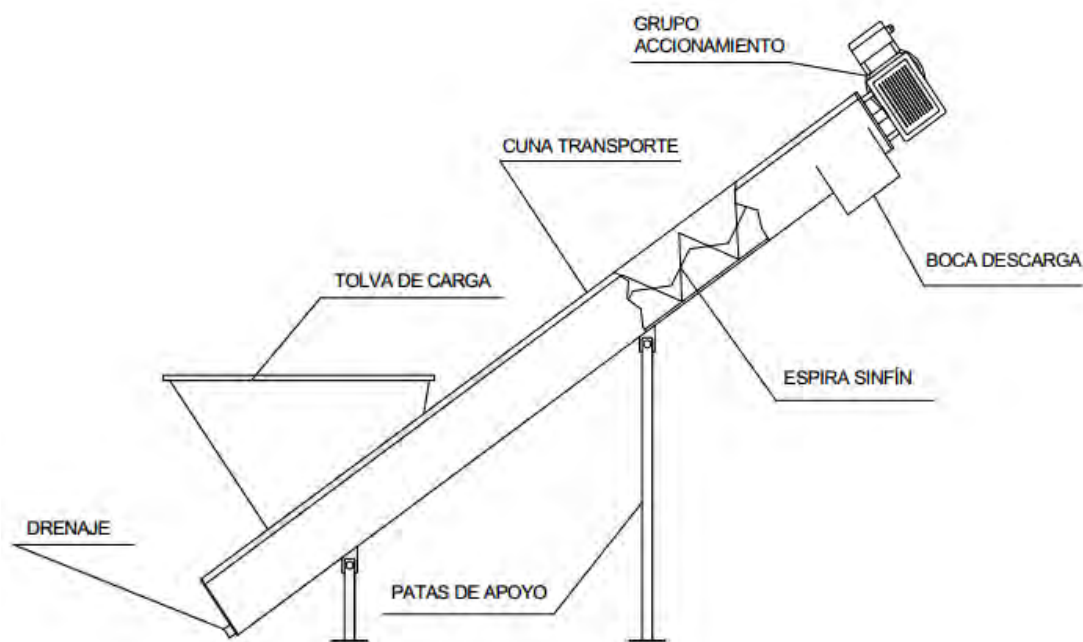
Los residuos de desbaste se depositan, generalmente, en vertederos, pudiendo también incinerarse en un horno, previsto para ello en una planta, o en una instalación de incineración de basuras. La temperatura de combustión deberá ser superior a 800°C, para evitar que se produzcan malos olores.

Los sólidos eliminados de los sistemas de rejas y tamices, son retirados manualmente o más comúnmente mediante sistemas mecánicos, para su deposición en contenedores para su posterior transporte a vertederos autorizados (vertederos RSU). Todos los exudados de los diversos sistemas de rejas y tamices deben ser mandados a cabecera de

planta para su correcto tratamiento. Los sistemas mecánicos para la retirada de residuos más comúnmente empleados son:

- Cintas transportadoras: consiste en una cinta, normalmente de caucho, impulsada por un sistema de rodillos. La cinta debe tener un sistema de arranque y parada sincronizado con el de la reja.
- Tornillos sin fin: Este tornillo es el encargado de realizar el transporte de las materias sólidas que son depositadas en la tolva. El sinfín será definido en función de las características de trabajo, como pueden ser el caudal, cantidad de sólido a transportar, velocidad de transporte, inclinación del equipo, agresividad del material a transportar, dimensiones del canal, etc.
- Es un equipo destinado a la separación de grandes cantidades de sólidos presentes en las aguas residuales, estos sólidos en suspensión que transporta el líquido se depositan en la criba o zona de tamizado y por medio de la hélice son transportados hacia la parte superior, por el movimiento rotacional del sinfín. En la siguiente figura se representan las partes de un tornillo sin fin:

FIGURA 10. ESQUEMA DE UN TORNILLO SIN FIN



Este equipo tiene los siguientes componentes

- Zona de carga: La zona de carga está situada normalmente en la parte superior del equipo y es la encargada de decepcionar el material para posteriormente ser transportado.
- Zona transporte y deshidratado: Esta zona es el tramo del equipo por donde se desplazan los sólidos, donde son elevados hasta la boca de descarga, por medio de la rotación de la hélice los materiales se van desplazando, al mismo tiempo que van perdiendo el contenido del agua que puedan contener.

El desplazamiento lo efectúa sobre una cuna donde el sinfín va rozando sobre las paredes de la misma provocando su desplazamiento. Los materiales utilizados son los aceros inoxidables en sus distintas calidades y la zona de rozamiento está constituida por un polímero de alta resistencia al rozamiento.

Estos equipos van equipados con un sistema de limpieza, el cual es un cepillo helicoidal que va solidario al sinfín en la zona de tamizado, realizando una función de barrido y limpieza de la malla al mismo tiempo que gira el sinfín para transportar los sólidos.

- Grupo accionamiento: Este está compuesto por un grupo motor-reductor eléctrico de eje hueco, el cual proporciona el movimiento a la espira sinfín, la transmisión es directa mediante un eje recto.
- Boca descarga: Es la zona por donde se produce la salida de los materiales sólidos que han sido transportados por el sinfín, esta estará a una altura determinada para poder descargar a un contenedor.
- Zona de drenaje: La zona de drenaje es la que nos permite evacuar el posible líquido que se pueda almacenar en el equipo.

#### 7.1.7.2. DESARENADOR-DESENGRASADOR

El volumen de arenas extraídas de los desarenadores es muy variable en función del sistema de recogida de las aguas (red unitaria o separativa), estado de los colectores, condiciones climáticas, tipos de vertido, etc., Siendo este un aspecto muy importante a considerar previamente al diseño del pretratamiento. Su falta de previsión ha determinado a veces, importantes problemas de funcionamiento, al llegar a la depuradora volúmenes muy superiores a los teóricos considerados. Así, por ejemplo, poblaciones con calles sin pavimentar generarán una mayor cantidad de arena en el agua bruta, las poblaciones donde nieva o hiela recogerán más arena, las redes de alcantarillado en mal estado, con juntas deterioradas facilitan la entrada de arena en su interior, las fuertes lluvias y tormentas producen un arrastre de las arenas tanto de las calles como las depositadas en los colectores.

Según datos manejados por diversos autores (Thomas, Babbitt-Baumann, Hardembeh-Rodie, Paz Maroto), los volúmenes de arenas extraídas pueden oscilar entre los siguientes valores:

Sistema de colectores	Litros/100m <sup>3</sup> residual	agua	Litros/habitante·año
<b>Unitario</b>	8-80		10-30
<b>Separativo</b>	6-20		5-10

Si se desconocen datos reales sobre la cantidad de arenas existentes en un agua residual determinada es necesario diseñar con amplitud los sistemas de extracción, considerándose como valor.

## 7.2. DESODORIZACIÓN

Normalmente los olores que produce una EDAR se deben a los gases que se producen al descomponerse la materia orgánica. Las principales causas de olores en una planta de pretratamiento de agua residual son:

- Agua residual séptica que contiene  $H_2S$
- Residuos industriales evacuados en la red de alcantarillado.

Para tratar esta problemática, se ha realizado el estudio de las siguientes alternativas de desodorización:

### 7.2.1. ADSORCIÓN

La adsorción es un proceso por el cual los compuestos orgánicos volátiles de las fases líquidas o gaseosas (adsorbato) son retenidas en la superficie de un material sólido poroso a nivel microscópico (adsorbente). El resultado será la formación de una capa (líquida o gaseosa) en la superficie del adsorbente. Debido a la naturaleza de los enlaces, el material adsorbido se podrá clasificar como:

- Adsorción física: forma más simple de adsorción debida a las fuerzas de Van de Waals, no existe intercambio de electrones.
- Adsorción química: es menos frecuente, ocurre cuando el enlace se forma con un intercambio de electrones debida a enlaces fuertes en los centros activos del adsorbente.

Los adsorbentes deberán tener un gran área superficial, para así aumentar el rendimiento de la adsorción, se suelen utilizar gel de sílice, polímeros sintéticos, anillos naturales o activados, óxidos de hierro; aunque el más utilizado en la industria de depuración es el carbón activo.

Los sistemas de adsorción producen una separación y transferencia de contaminantes de un medio a otro.

Los equipos de eliminación de olores mediante filtros de carbón activo son ampliamente conocidos, normalmente en forma anillos o tejidos impregnados de carbón activo. Estos equipos son muy eficaces en aplicaciones en las que se tratan pequeños caudales de aire, pero son poco rentables para desodorizar emisiones industriales, de mayor caudal.

El fundamento de la depuración se basa en la capacidad del carbón activo para adsorber los compuestos causantes del mal olor. Con muy pocas excepciones este sistema presenta una alta eficacia. Así se puede considerar como un sistema de depuración de aplicación universal, en el que se puede garantizar una corriente de salida prácticamente exenta de malos olores.

Las características principales del uso de adsorción con carbón activo son:

- Capacidad para trabajar con variaciones de concentración de contaminante.
- Fácil mantenimiento y bajo coste de explotación.
- Equipos de pequeñas dimensiones.

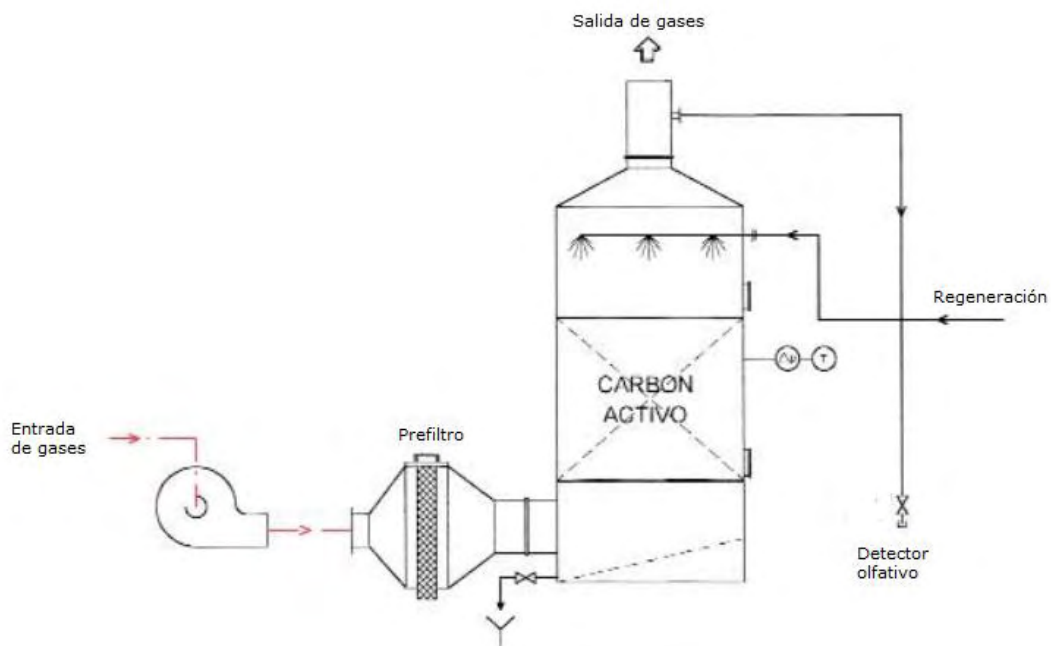
#### 7.2.1.1. INSTALACIÓN

Una torre de adsorción mediante carbón activo es una torre cilíndrica rellena de carbón activo el cual consigue retener los compuestos orgánicos covalentes del aire para conseguir un aire de salida de la torre limpio.

Las partículas de olores quedan atrapadas en la superficie del carbón activo por atrape físico. Esto obliga a la regeneración o sustitución del lecho de carbón activo cada cierto tiempo para mantener su capacidad de desodorización.

La instalación que se presenta en la figura siguiente consta de una tubería conectada a un ventilador que proporciona la presión suficiente para vencer las pérdidas de carga del circuito de tuberías de dicha torre, seguido de un filtro para evitar la entrada de gruesos, y de una torre rellena de carbón activo para la desodorización. La cantidad de carbón necesario se determina a partir de los parámetros del aire.

**FIGURA 11. ESQUEMA DE UNA INSTALACIÓN DE ADSORCIÓN CON CARBÓN ACTIVO**



A la hora de diseñar una torre de desodorización con carbón activo hay que tener en cuenta la pérdida de carga de la columna de carbón y también la calidad de corriente a depurar que debe estar exenta de cantidades elevadas de agua y de polvo ya que el carbón se obstruye con facilidad.

#### 7.2.1.2. TIPOS DE CARBÓN ACTIVO

- Carbón de origen mineral: Es el más económico y se suele emplear en aplicaciones de olores no muy específicas, generalmente en instalaciones de acondicionamiento y cuyas condiciones de trabajo son relativamente estables y controladas.
- Carbón de origen vegetal: Se utiliza en aquellos campos que requieren un proceso industrial: máxima capacidad de retención en condiciones de trabajo difícil o inestable.
- Carbón de origen vegetal impregnado: La superficie del carbón se impregna con una sustancia química que es especialmente afín al contaminante que se quiere retener. Se utiliza en aplicaciones especiales. Principales tipos de impregnación: óxidos metálicos, cobre, azufre, plata, yoduro, sosa cáustica y permanganato potásico.
- Carbones regenerables: El carbón activado puede regenerarse por vía química o térmica.

Existen experiencias de regeneración con NaOH en carbones destinados a adsorber H<sub>2</sub>S. La eficiencia de la regeneración química y el número de ciclos de regeneración depende de los componentes del gas tratado. La presencia de materia orgánica de elevado peso molecular no eliminada en la regeneración con hidróxido sódico puede repercutir en una acumulación de las mismas en el carbón, menguando la capacidad de adsorción en cada lavado. Este tipo de regeneración química se lleva a cabo en torres especialmente diseñadas a tal efecto. El lecho se inunda con la solución cáustica para posteriormente vaciarlo y proceder al secado del carbón. A partir de este momento, volverá a estar en condiciones de uso.

La regeneración térmica se lleva a cabo en los hornos de los fabricantes donde se somete al carbón a altas temperaturas, cercanas a los 1.000°C, en atmósfera inerte o reductora durante un tiempo predeterminado.

#### 7.2.1.3. REACTIVACIÓN

La reactivación o la regeneración de carbón activo implican la restauración de la capacidad de adsorción del carbón activo saturado por la adsorción de contaminantes sobre la superficie del mismo.

Reactivación térmica: La técnica de regeneración más común empleada en los procesos industriales es la reactivación térmica. Sigue tres pasos:

- Secado adsorbente a aproximadamente 105°C.
- Desorción de alta temperatura y la descomposición (500-900°C) bajo una atmósfera inerte.
- Gasificación de los residuos orgánicos con un gas oxidante (vapor de agua o dióxido de carbono) a temperaturas elevadas (800°C). Tiene como objetivo eliminar el residuo orgánico carbonizado formado en la estructura porosa en la etapa anterior y volver a exponer la estructura de carbono poroso regeneración de sus características superficiales originales.



Después del tratamiento la columna de adsorción se puede reutilizar. Por ciclo de regeneración de adsorción térmica entre 5-15% en peso del lecho de carbón se quema dando como resultado una pérdida de la capacidad de adsorción. La regeneración térmica es un proceso de alta energía debido a las altas temperaturas requeridas por lo que es tanto un energéticamente y comercialmente proceso costoso. Las plantas que dependen de la regeneración térmica de carbón activado tienen que ser de un tamaño determinado antes de que sea económicamente viable para disponer de las instalaciones de regeneración “in situ”. Como resultado, es común para los sitios de tratamiento de residuos más pequeños para enviar sus núcleos de carbón activado para una instalación especializada para la regeneración.

#### 7.2.1.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ADSORCIÓN CON CARBÓN ACTIVO

TABLA 4.VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ADSORCIÓN CON CARBÓN ACTIVO

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gran eficacia de eliminación (del 90% al 95%)</li> <li>- Gran rendimiento para caudales bajos y con poca contaminación</li> <li>- Inversión baja</li> <li>- Baja necesidad de inspección y control.</li> <li>- Permite realizar el recambio de los lechos agotados de manera muy sencilla por los propios operarios de la planta y sin ningún riesgo especial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No útil para caudales grandes</li> <li>- Mantenimiento frecuente y con altos costes.</li> <li>- La regeneración o reactivación genera residuos que deben ser dispuestos en vertederos controlados.</li> <li>- Elevadas pérdidas de carga</li> <li>- Elevados costes de renovar el carbón</li> <li>- No es adecuado para tratar altas concentraciones de <math>H_2S</math></li> </ul>

### 7.2.2. BIOFILTRACIÓN

Uno de los procesos biotecnológicos más importantes aplicado para el tratamiento y control de malos olores es la biofiltración. Este proceso consiste en un lecho de biomasa que se activa gracias a la adición de los microorganismos indicados.

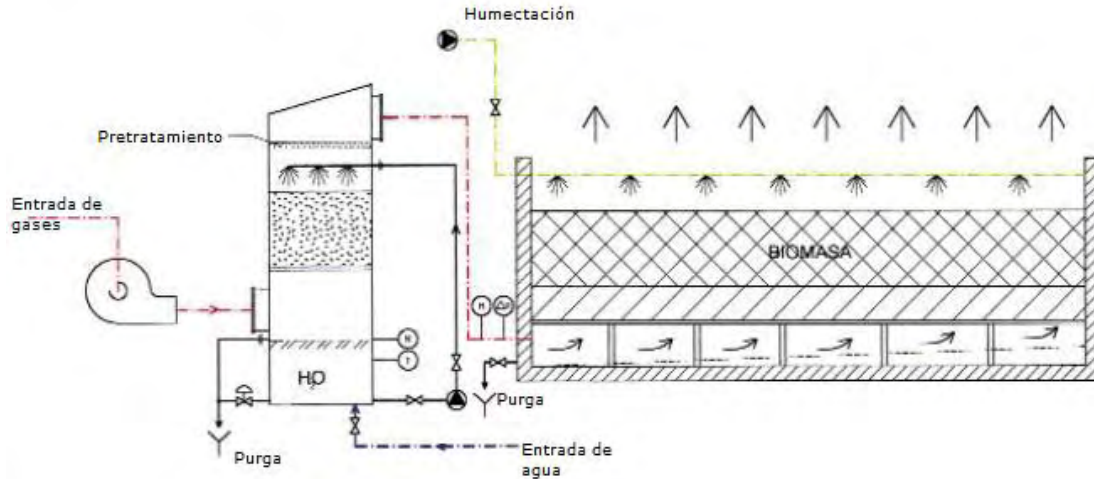
Los biofiltros han sido aplicados con éxito en el tratamiento de malos olores en plantas de tratamiento de aguas residuales así como en plantas de compostaje (eliminación de  $H_2S$ ).

Este sistema se basa en la interacción del gas con un medio orgánico cuya actividad de degradación proviene de los microorganismos que viven y se desarrollan en él. La suma de ambos se denomina medio biológico filtrante, constituyente esencial del biofiltro.

#### 7.2.2.1. INSTALACIÓN

En la figura siguiente se muestra una propuesta de instalación de desodorización por Biofiltración. El aire con olores se conduce hacia la etapa de pretratamiento, donde se eliminarán las partículas que puedan ocasionar taponamientos ya que además de problemas en equipos, reduce la superficie útil. Después se trata el gas para adecuarse a la temperatura y humedad óptimas para los microorganismos. Por último, la corriente de aire, pasa a través del relleno de biomasa y convierte los contaminantes en  $CO_2$ , agua y biomasa. Por la parte superior de la instalación sale la corriente de aire desodorizada.

FIGURA 12. ESQUEMA DE UNA INSTALACIÓN DE DESODORIZACIÓN BIOLÓGICA.



#### 7.2.2.2. PARÁMETROS DE DISEÑO

En el diseño de la instalación, se debe tener en cuenta:

- Selección del biofiltro
- Biodegradabilidad de los contaminantes
- Nivel de concentración
- Caudal de aire
- Relleno
- Temperatura
- Humedad
- Pérdida de carga

#### 7.2.2.3. TIPOS DE SOPORTE DE BIOMASA

- Relleno de tipo orgánico: puede ser suelo, compost, turba, brezo, corteza, mezclas de rellenos, etc. Estos rellenos presentan una flora microbiana natural y los nutrientes necesarios para la actividad microbiana. Dependiendo del tipo de relleno escogido, éste tendrá unas características diferentes que pueden hacer variar el dimensionamiento del biofiltro. Los rellenos orgánicos tienen además un cierto efecto tampón sobre el pH.
- Rellenos de tipo inorgánico: pueden servir de soportes inertes para rellenos orgánicos. Algunos rellenos inorgánicos, como el carbón activo, pueden adsorber parte del contaminante y regular su concentración y posibles efectos tóxicos para los microorganismos.

Actualmente se está implantando un sistema de rejillas de polipropileno. Son elementos modulares con distintas alturas de pies de apoyo, de gran resistencia química y mecánica, fácil montaje y bajo coste.

#### 7.2.2.4. TEMPERATURA Y HUMEDAD

Estos dos factores son muy importantes y están relacionados. A mayor temperatura de la corriente, se observa una mayor evaporación del agua presente en el relleno, que es un fenómeno no deseado en el biofiltro. De todos modos, la temperatura de trabajo viene determinada por el tipo de microorganismo y en los casos más usuales el rango de trabajo está entre la temperatura ambiente y unos 35-40°C.

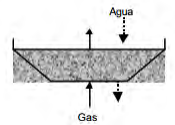

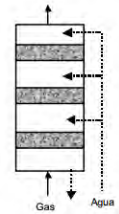
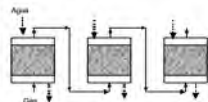
#### 7.2.2.5. PÉRDIDA DE CARGA

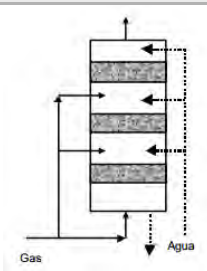
La pérdida de carga en el biofiltro influye en el coste de explotación del biofiltro. En el diseño del mismo se debe tener en cuenta que la pérdida de carga varía con la carga superficial aplicada y que además con el tiempo, debido al asentamiento de la biomasa, suele aumentar.

Por ello es importante medir este parámetro y, a partir de un límite, esponjar la biomasa para restablecer los parámetros de diseño en la medida de lo posible.

## 7.2.2.6. TIPOS DE BIOFILTROS

TABLA 5. CARACTERÍSTICAS DE LOS DISTINTOS TIPOS DE BIOFILTROS (ADAPTADO DE SWANSON ET AL. 1997)

Tipo	Ventajas	Desventajas	Aplicaciones	Figura
<b>Lecho simple, sistema abierto</b>	Diseño simple, mantenimiento e inversión bajos	Funcionamiento variable, difícil de controlar, se requiere gran espacio	Usado para el control de olores y compuestos orgánicos volátiles.	
<b>Lecho simple, sistema cerrado</b>	Diseño simple, mantenimiento e inversión bajos, se incrementa el control del proceso	Requerimientos de espacio	Tratamiento de compuestos orgánicos volátiles.	
<b>Lecho múltiple</b>	Se reduce el espacio requerido, se incrementa la flexibilidad de operación del proceso, eficaz para el tratamiento de gases mixtos	Se incrementan la complejidad del diseño y la operación de su costo	Limitado para el uso a escala industrial. Se ha utilizado en plantas piloto y de laboratorio para la eliminación de compuestos orgánicos volátiles.	
<b>Sistema lecho simple en serie</b>	Alta flexibilidad en su funcionamiento y muy efectivo para el tratamiento de gases	Mayores costos de inversión y mantenimiento	Tratamiento de mezclas de compuestos orgánicos volátiles a nivel piloto	

<b>Sistema modular</b>	Alta flexibilidad de tratamiento, automatizado y fácil de controlar.	Sistema patentado	Tratamiento de compuestos de azufre reducidos y benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX)	
<b>Lecho múltiple, sistema multietapas</b>	Mejora la respuesta a incrementos bruscos en la concentración de compuestos orgánicos y de flujo. Gran flexibilidad en la operación y control de proceso	Aún no probado a nivel piloto o escala industrial	Tratamiento de compuestos orgánicos volátiles a nivel laboratorio	 <p>El diagrama ilustra un sistema de lecho múltiple con tres etapas de tratamiento. Se muestra el flujo de gas y agua. El gas entra por la parte inferior y fluye hacia arriba a través de las etapas. El agua entra por la parte superior y fluye hacia abajo a través de las etapas. Las etapas están representadas por rectángulos con hachuras, y los flujos están indicados por flechas.</p>

## 7.2.2.7. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA BIOFILTRACIÓN

TABLA 6.VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA BIOFILTRACIÓN

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Operando en las condiciones adecuadas, la biomasa tiene duración ilimitada</li> <li>- Instalación sencilla</li> <li>- Bajos costes de mantenimiento</li> <li>- No se generan residuos</li> <li>- España es un país rico en fuentes naturales de biomasa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevada área de terreno</li> <li>- No es útil para elevadas concentraciones de contaminantes ni para todos los contaminantes.</li> <li>- Mantenimiento realizado por personal altamente especializado.</li> <li>- Necesidad de personal especializado para la selección del sustrato.</li> <li>- Escasa experiencia en España.</li> <li>- Ciertos productos químicos pueden ser perjudiciales para los microorganismos</li> </ul>

## 7.2.3. INCINERACIÓN CATALÍTICA REGENERATIVA

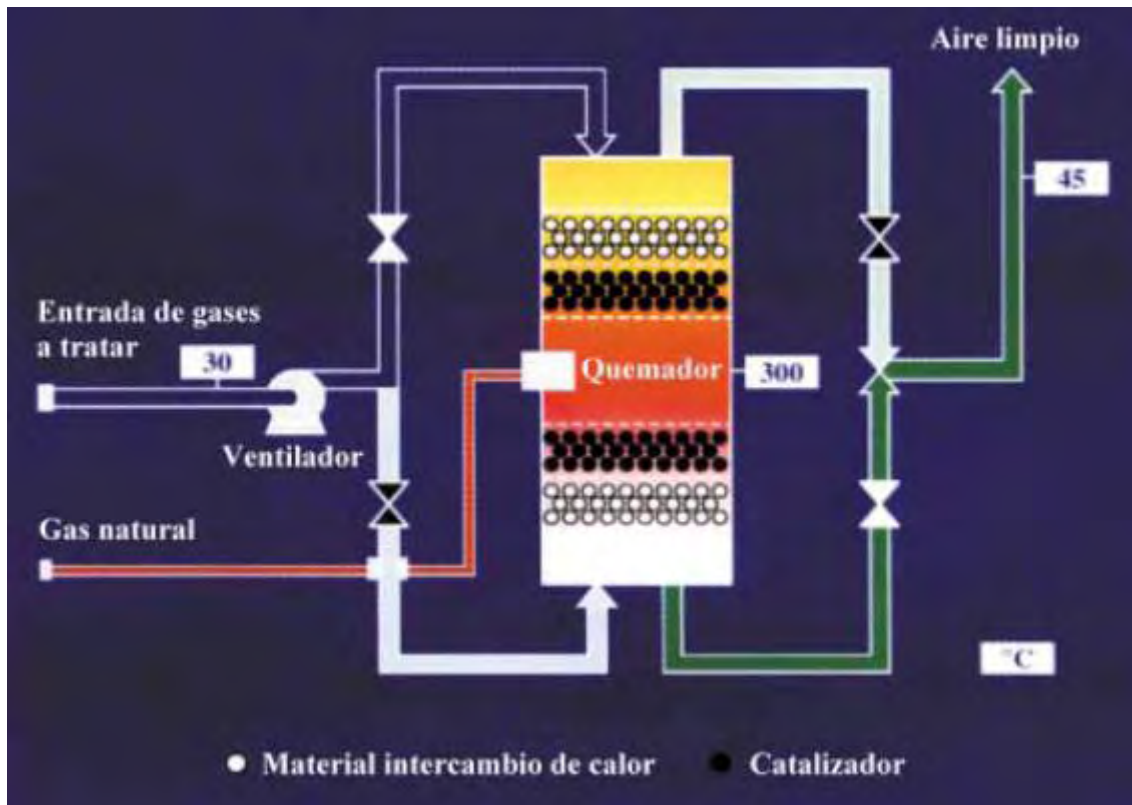
En los casos en los que los gases están a altas temperaturas, la mejor solución es utilizar una incineración, además en este proceso se puede aprovechar las altas temperaturas en otros puntos del proceso, lo que lo hace económicamente viable.

## 7.2.3.1. TIPOS DE INCINERACIÓN

- Incineración térmica: se realiza a temperaturas entre 800 y 900°C con cámara de combustión y postcombustión y tiempos de residencia de 1-2 segundos. Su aplicación en desodorización es limitada por el alto coste energético.
- Incineración catalítica: Tiene lugar a temperaturas que oscilan entre 200 y 400°C. Este sistema consiste en un reactor de acero con dos o más lechos de relleno absorbente, cada uno de los cuales dispone de un catalizador.
- Incineración catalítica regenerativa: Es una de las tecnologías más avanzadas y que más evolución y desarrollo está teniendo actualmente. Tal y como se muestra en la siguiente figura, cuando se produce la combustión y oxidación catalítica en una fase, los gases calientes se utilizan para calentar el relleno de la segunda fase; cuando éste alcanza la temperatura deseada de forma automática o través de un *bypass* se invierte el ciclo. Con ello se obtiene una muy importante

reducción de energía de combustión, consiguiendo que sea nula (autocombustión) cuando la concentración y el poder calorífico de los componentes es suficiente. Es un proceso especialmente indicado para compuestos orgánicos volátiles, ya que con concentraciones de  $0,5 - 0,7 \text{ g/m}^3$  se obtiene la autocombustión sin aporte de calor.

FIGURA 13. ESQUEMA INSTALACIÓN CATALÍTICA REGENERATIVA



Hace algunos años, la incineración catalítica tenía grandes limitaciones por la composición de los catalizadores, que no eran adecuados para muchos componentes, y su alto precio.

Actualmente existe una gran variedad de tipos de catalizadores, muchos de ellos específicos para la composición de los gases a tratar, en forma de pastillas o *pellets* o también en bloques multicanal de estructuras cerámico-metálicas, lo que ha ampliado enormemente su campo de aplicación.

## 7.2.3.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA INCINERACIÓN

TABLA 7. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA INCINERACIÓN

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es posible aprovechar las altas temperaturas en otros puntos del proceso.</li> <li>- Baja inversión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto consumo energético</li> <li>- Formación de productos gaseosos de combustión como óxidos de azufre y nitrógeno que necesitan ser depurados del aire de emisión.</li> </ul>

## 7.2.4. OXIDACIÓN CON OZONO POR VÍA HÚMEDA

Constituye una moderna tecnología que ha evolucionado mucho en los últimos años, que tiene una gran efectividad y un amplio campo de aplicación en la desodorización industrial. Es una de las tecnologías más seguras, eficaces, limpias y de bajos costes de explotación.

En España está poco aplicada, debido a su alto coste de inversión.

Entre los componentes naturales de la atmósfera se encuentra el ozono como una forma natural del oxígeno. De forma industrial, se obtiene mediante una descarga eléctrica a alto voltaje en presencia de aire seco u oxígeno.

El principio de funcionamiento de tratamiento de desodorización de humos es el lavado de los gases mediante un elevado caudal de agua con  $O_3$  disuelto que retiene los contaminantes, principalmente restos parcialmente quemados que provocan opacidad y olores.

Debido a la inestabilidad del compuesto, el ozono debe ser producido en el sitio de aplicación mediante unos generadores.

## 7.2.4.1. INSTALACIÓN

La instalación de desodorización con ozono por vía húmeda que se presenta en la siguiente figura se compone de tres partes fundamentales:

- Generador de ozono: Debe ser de alta calidad, de forma que garantice la concentración de ozono necesaria, así como de los controles de seguridad y regulación que se precisan. Debe disponer de un sistema eficaz, tanto para el tratamiento previo del aire, como del sistema de refrigeración para eliminar el calor generado en la descarga eléctrica. La concentración de ozono gas necesaria para una instalación de desodorización industrial oscila entre 15 y 30 mg/m<sup>3</sup> de aire a tratar. La obtención del ozono a través del oxígeno reduce el coste del



equipo generador, pero es necesario disponer de un tanque de almacenamiento y suministro de oxígeno.

- Cámara de disolución: Una vez disponemos de ozono gas en la cantidad necesaria, es imprescindible una buena disolución en el agua. Teniendo en cuenta que es un gas poco soluble, es muy importante en una instalación el diseño del sistema de cámara de disolución para obtener agua ozonizada. El grado de disolución dependerá de los siguientes factores:
  - Temperatura del agua y presión parcial.
  - Buena distribución y homogenización.
  - Tamaño de la burbuja.
  - Tiempo de contacto.
  - Control de pH.

El ozono residual no disuelto en la cámara de disolución se incorpora a la entrada del absorbedor para su aprovechamiento en la fase de absorción y evitar fugas de ozono, que es muy corrosivo.

### **Equipo de absorción:**

Para la oxidación con ozono se extrae el aire de las instalaciones mediante turbinas o extractores adecuados; los gases, dirigidos por tuberías, ingresan en la torre de lavado a través de una tolva de entrada.

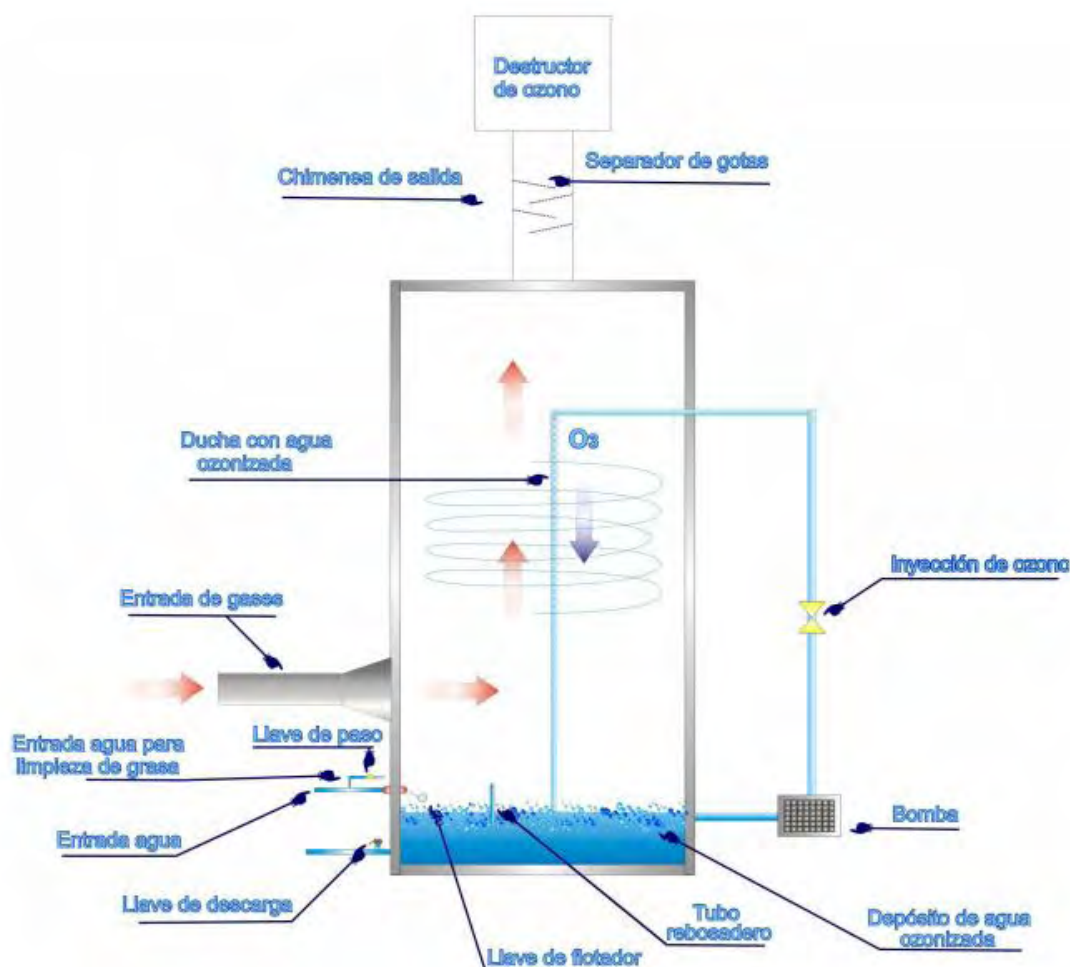
A partir de ahí, se hace pasar el gas por una columna de agua ozonizada propulsada por una bomba de acero inoxidable auto aspirante, que recircula el agua del depósito inferior.

La inyección de ozono se realiza a la salida de la bomba de extracción, en la tubería encargada de llevar el agua aspirada por la bomba hasta la parte superior de la torre.

Desde ahí, el agua ozonizada es expulsada mediante una tubería llena de toberas; estas toberas generan chorros entrecruzados que aumentan el tiempo y superficie de contacto, creando así una densa columna que deja el gas libre de residuos.

El agua, una vez terminado el lavado, cae por gravedad al depósito de recirculación situado en la parte inferior de la torre. Finalmente el aire, ya libre de partículas, sale al exterior por la chimenea de escape, donde un separador de gotas asegura que la humedad relativa del aire de salida sea la adecuada, pasando previamente por un destructor de ozono que asegura que no haya emisiones de este gas al ambiente.

FIGURA 14.OXIDADOR CON OZONO POR VÍA HÚMEDA



La instalación debe disponer un control automático que regule el pH y redox para evitar la emisión de ozono a la atmosfera

#### 7.2.4.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA OXIDACIÓN CON OZONO POR VÍA HÚMEDA

TABLA 8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA OXIDACIÓN CON OZONO POR VÍA HÚMEDA

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto rendimiento</li> <li>- No es peligroso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta inversión</li> <li>- Difícil de ajustar las dosis de ozono y mantener las condiciones de operación óptima.</li> </ul>

### 7.2.5. ABSORCIÓN FÍSICA E OXIDACIÓN QUÍMICA

Uno de los sistemas de desodorización más utilizados es el de la oxidación química de los compuestos causantes de los malos olores. Existen situaciones en las que el olor viene causado por una mezcla de compuestos susceptibles de ser oxidados y también neutralizados, mediante soluciones de lavado ácidas o alcalinas según sea necesario. El proceso consiste en utilizar un reactivo oxidante en un equipo de absorción de gases. Se combina, de una parte, la absorción física del gas en el líquido y la reacción química de otra, siendo el conjunto de ambos fenómenos la solución más eficaz para el caso de compuestos causantes de malos olores. Los productos de la oxidación son sustancias que no huelen o que son fácilmente absorbidos en una segunda torre.

Esta tecnología es muy eficaz para tratar emisiones contaminada con partículas como compuestos  $H_2S$ ,  $NH_3$ , aminas y algunos COVs como el metanol o la acetona.

Como reactivos de oxidación existe una amplia gama. Los más utilizados industrialmente son:

- Hipoclorito sódico en medio alcalino.
- Agua oxigenada.
- Permanganato potásico.
- Ozono.

#### 7.2.5.1. INSTALACIÓN

Lo más habitual es utilizar sistemas de absorción a contracorriente donde el gas a tratar se introduce por la parte inferior y por la parte superior se introduce la solución absorbente.

##### 7.2.5.1.1. SISTEMA DE DOS ETAPAS

Una instalación de lavado de gases del tipo oxidación–neutralización de dos etapas tal y como se muestra en la siguiente figura consta de dos torres de lavado en serie, conectadas entre sí mediante conducto. En la primera torre se efectúa un lavado con un reactivo oxidante, mientras que en la segunda tiene lugar la neutralización química.

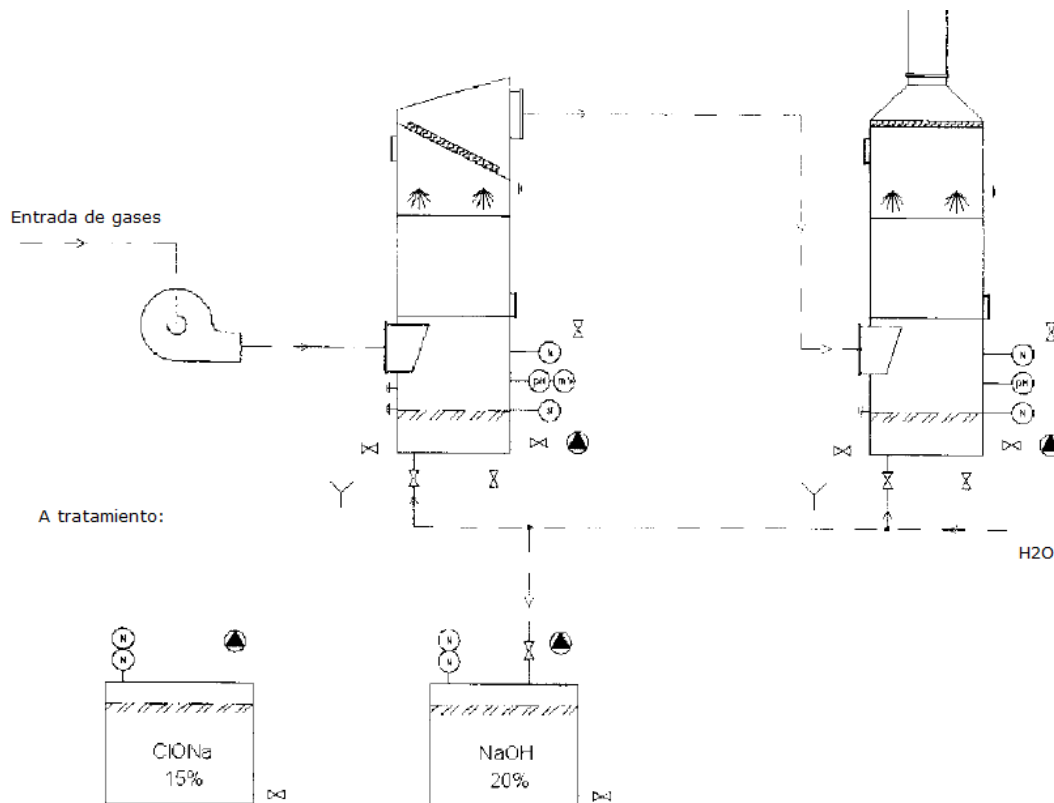
El gas a lavar entra por la parte inferior de la primera torre, impulsado por un ventilador que proporciona el caudal y presión necesarios para aspirar el aire y hacerlo pasar por las dos torres. Cada torre dispone de una bomba de recirculación para impulsar el líquido de lavado hasta las boquillas de pulverización que están en cabeza de la torre, de manera que el lavado sea a contracorriente. Las torres de lavado deben ir dotadas de sondas de nivel que permitan regular una electroválvula para disponer de un volumen de agua constante en el depósito de recirculación. También deben disponer de una sonda de medición del potencial redox y dos sondas de medición de pH para mantener siempre la solución en su estado óptimo de trabajo.

En la primera torre (lavado oxidante), la adición de una base, en este caso NaOH, favorece la absorción, ya que a pH elevado el  $H_2S$  se encuentra en forma de  $HS^-$  y  $S_2^{2-}$ , que no son volátiles. Aumentando así la transferencia de materia del gas al líquido. A

continuación el NaOCl actúa oxidando instantáneamente transformando el gas en sales estables, lo cual elimina olores.

En la segunda torre se adiciona NaOH mediante una segunda bomba, para neutralizar el olor a  $\text{Cl}_2$ . El hipoclorito sódico que no haya reaccionado en la primera torre genera olores que deben ser neutralizados. Esto olores de cloro se neutralizan a pH 10. El mecanismo es similar, se facilita la transferencia de materia a través de la película gaseosa con el pH alto y, después reacciona con los iones  $\text{OH}^-$  de la sosa.

FIGURA 15.ESQUEMA DE UNA INSTALACIÓN DE DESODORIZACIÓN POR VÍA QUÍMICA EN DOS FASES



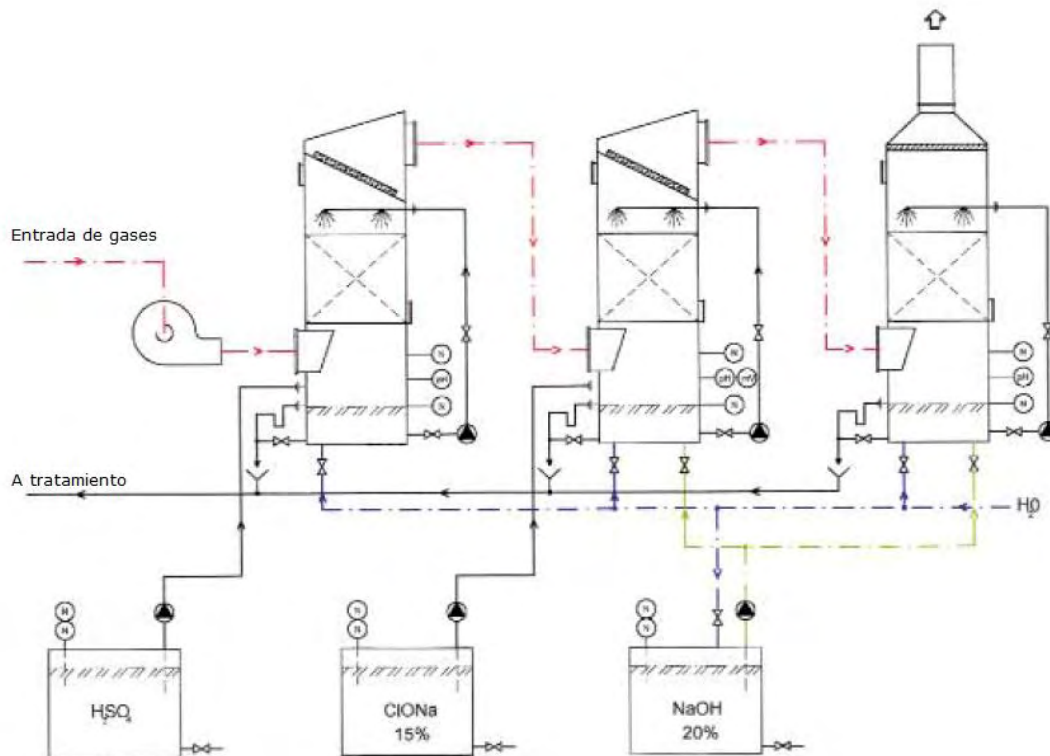
#### 7.2.5.1.2. SISTEMA DE TRES ETAPAS

El aire a desodorizar en depuradoras de aguas presenta en muchas ocasiones amoníaco, sulfuro de hidrógeno y mercaptanos. En este caso, la instalación consta de tres lavados: ácido, oxidante y básico, respectivamente. Una instalación de lavado de gases de tres etapas tal y como se muestra en la siguiente figura se implementa con tres torres de lavado en serie, conectadas entre sí mediante conductos del diámetro adecuado. En la primera torre se efectúa un lavado ácido para eliminar  $\text{NH}_3$  y compuestos derivados del mismo, en la segunda torre se lava con un reactivo oxidante y en la tercera se neutraliza.

El fundamento de la instalación es idéntico al sistema de dos torres, pero ciertos parámetros de diseño y constructivos cambian. En efecto, la pérdida de carga que debe

vencer el ventilador es mayor y esto se traduce en motores de mayor potencia. También hay que dotar al sistema con un pH metro más para dosificar el reactivo ácido y mantener el pH óptimo de trabajo (por lo general  $H_2SO_4$ ) mediante la correspondiente bomba dosificadora.

FIGURA 16.ESQUEMA DE UNA INSTALACIÓN DE DESODORIZACIÓN POR VÍA QUÍMICA EN TRES FASES



La configuración de los sistemas de absorción que se encuentran habitualmente en una EDAR es un sistema de dos etapas pero combinando el lavado ácido y luego básico, donde se eliminan inicialmente los compuestos nitrogenados (amoníaco y aminas) gracias a un baño ácido (pH 2-3) y los compuestos sulfurados en la segunda torre donde se someten a una absorción a pH básico (10) seguido de una oxidación con hipoclorito sódico.

#### 7.2.5.1.3. SISTEMAS DE ABSORCIÓN

Los lavadores o scrubbers pueden ser de varios tipos, en todos los casos, el objetivo es aumentar el área de contacto entre el líquido y el gas, favoreciendo así la transferencia de materia. Los gases que se desean eliminar irán pasando a la fase líquida hasta que las concentraciones en una y otra satisfagan la ley Henry, y entonces habrá que reemplazar el líquido lavador.

Estos equipos también permiten retener determinados gases tóxicos y partículas muy finas (entre 0,1 y 20 $\mu$ m).

### 7.2.5.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ABSORCIÓN Y OXIDACIÓN QUÍMICA

TABLA 9. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ABSORCIÓN Y OXIDACIÓN QUÍMICA

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso muy extendido</li> <li>- Caudales elevados</li> <li>- Alta eficacia</li> <li>- Puede operar con rápidas variaciones en la concentración de algunos componentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necesidad de mantenimiento</li> <li>- Los compuestos olorosos en la disolución son recirculados</li> <li>- Puede que la depuración no sea completa.</li> </ul>

## 7.2.6. EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVA

### 7.2.6.1. EVALUACIÓN TÉCNICA

#### 7.2.6.1.1. ADSORCIÓN

Tiene alta fiabilidad, y baja demanda de espacio y es capaz de eliminar gran cantidad de compuestos olorosos. Necesita mantenimientos frecuentes y además tiene altos costes iniciales y de mantenimientos, tiene elevadas pérdidas de carga por lo que necesita ventiladores a mucha potencia y genera residuos que deberán ser dispuestos en vertederos controlados, son poco rentables para desodorizar caudales superiores a 5000m<sup>3</sup>/h

#### 7.2.6.1.2. BIOFILTRACIÓN

La instalación y construcción es bastante sencilla, además no genera residuos líquidos ya que no se necesitan reactivos. El sustrato biológico usado como filtro tiene una vida limitada, además ocupa gran superficie de terreno y su mantenimiento conlleva elevada mano de obra. El biofiltro es sensible a los cambios de temperatura y humedad, no soporta altas concentraciones de contaminante y las experiencias de uso son escasas.

#### 7.2.6.1.3. INCINERACIÓN CATALÍTICA REGENERATIVA

Tiene bajo coste inicial y se podría aprovechar la energía térmica para otros fines, se forman gases de efecto invernadero y de lluvia ácida. No se utiliza muy habitualmente para tratamiento de desodorización de aire ya que necesita un aporte energético muy grande para aumentar la temperatura del caudal de aire a desodorizar.

#### 7.2.6.1.4. OXIDACIÓN CON OZONO POR VÍA HÚMEDA

Alta inversión, el funcionamiento no es sencillo.

#### 7.2.6.1.5. ABSORCIÓN FÍSICA E OXIDACIÓN QUÍMICA

Permite alcanzar elevados rendimientos y pérdidas de carga bajas, es capaz de trabajar con altos caudales, se puede variar el tipo de reactivo dependiendo de la composición de los olores y determinar la estequiometría óptima para neutralizarlos. También es útil para grandes rangos de concentración de compuestos olorosos, aunque requiere de mano de obra continua.

Necesita una alta inversión y un gran tamaño en la instalación.

Es un diseño complejo.

#### 7.2.6.1.6. CONCLUSIÓN

Se descarta las opciones de incineración, oxidación con ozono ya que no son muy utilizadas en desodorización de depuradoras.

La biofiltración presenta problemas de tamaño y no puede trabajar con mucha carga contaminante, además no soporta variaciones de temperatura ambiental muy altas.

La absorción física e oxidación química es un proceso muy extendido pero con un alto coste inicial, es bueno para caudales muy elevados pero necesita alto mantenimiento.

La adsorción será útil ya que el caudal que se desea desodorizar en este proyecto no es superior a 5000m<sup>3</sup>/h.

Por lo tanto, la adsorción sería la mejor opción ya que tiene baja demanda de espacio y es capaz de eliminar gran cantidad de compuestos que producen olor con menor inversión y mantenimiento.

### 7.2.7. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

La solución adoptada aparece como resultado de la evaluación técnica.

#### 7.2.7.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La adsorción es un proceso por el cual moléculas de impurezas se adhieren a la superficie del carbón activado. La adherencia es gobernada por una atracción electroquímica. El carbón activado es preparado a partir de diversos materiales, tales como, carbón, madera, cáscaras de coco, turba y petróleo.

El carbón se transforma en "activado" cuando es calentado a altas temperaturas (800 a 1000°C) en la ausencia de oxígeno. El resultado es la creación de millones de poros microscópicos en la superficie del carbón. Esta enorme cantidad de área superficial proporciona grandes oportunidades para que tenga lugar el proceso de adsorción. En otras palabras, la activación de cualquier carbón consiste en "multiplicar" el área superficial creando una estructura porosa.

El carbón activado tiene una fuerte atracción adsorptiva para otras moléculas (orgánicas) basadas en el carbono, y es excelente en retener firmemente moléculas más pesadas tales como compuestos orgánicos aromáticos (aquellos que pueden ser oídos). El proceso de adsorción trabaja como un imán para mantener las impurezas en la superficie del carbón activado. Esto es una acción diferente de aquella que actúa como una esponja en el proceso de absorción, en el cual un gas o líquido es succionado hasta el centro del cuerpo poroso y allí mantenido.

El carbón activado es un producto que posee una estructura cristalina reticular similar a la del grafito; es extremadamente poroso y puede llegar a desarrollar áreas superficiales del orden de 1,500 metros cuadrados por gramo de carbón. Todos los átomos de carbón en la superficie de un cristal son capaces de atraer moléculas de compuestos que causan color, olor o sabor indeseables; la diferencia con un carbón activado consiste en la cantidad de átomos en la superficie disponibles para realizar la adsorción.

#### 7.2.7.2. TAMAÑO DE PORO

El carbón activo tiene una gran variedad de tamaños de poros, los cuales pueden clasificarse de acuerdo a su función, en poros de adsorción y poros de transporte.

Los primeros consisten en espacios entre placas con una separación de entre una y cinco veces el diámetro de la molécula que va a retenerse. En éstos, ambas placas de carbón están lo suficientemente cerca como para ejercer atracción sobre el adsorbato y retenerlo con mayor fuerza.

Los poros mayores que los de adsorción son de transporte, y tienen un rango muy amplio de tamaño, que van hasta el de las grietas que están en el límite detectable por la vista (que corresponde a 0.1mm). En esta clase de poros, sólo una placa ejerce atracción sobre el adsorbato y entonces lo hace con una fuerza menor, o incluso insuficiente para retenerlo. Actúan como caminos de difusión por los que circula la molécula hacia los poros de adsorción en los que hay una atracción mayor. Por lo tanto aunque tiene poca influencia en la capacidad del carbón activo afectan a la cinética o velocidad con la que se lleva a cabo la adsorción.

Otra clasificación de los poros, es el de la IUPAC (International Unión of Pure and Applied Chemists), que se basan en el diámetro de los mismos, de acuerdo a lo siguiente:

- Microporos: (Menores a 2 nm) tienen un tamaño adecuado para retener moléculas pequeñas que aproximadamente corresponden a compuestos más volátiles que el agua, tales como olores, sabores y muchos solventes.
- Mesoporos: (Entre 2 y 50 nm) son los apropiados para moléculas intermedias entre las anteriores. Por lo tanto la capacidad de un carbón activo para retener una determinada sustancia no solo depende de su área superficial, sino también de la proporción de poros internos que tenga dicho carbón, y del tamaño de los mismos (un tamaño adecuado para un poro debe oscilar entre 1 y 5 veces el diámetro de la molécula a retener)



- Macroporos: (Mayores a 50 nm) atrapan moléculas grandes, tales como las que son cloradas o las sustancias húmicas (ácidos húmicos y fúlvicos) que se generan al descomponerse la materia orgánica.

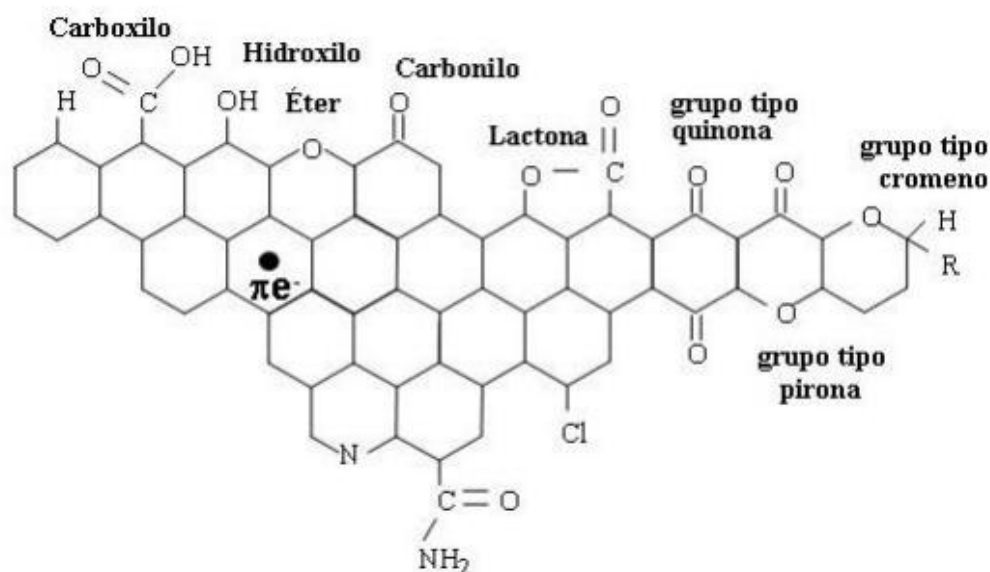
Los carbones activados, pueden presentar elevadas superficies específicas, del orden de  $1000 \text{ m}^2/\text{g}$  e incluso llegar a los  $3000 \text{ m}^2/\text{g}$ .

Los elevados valores de superficie específica se deben en gran medida a la porosidad que presentan los materiales carbonosos, siendo los microporos los que mayor contribución tienen en la superficie específica. En principio, cabría pensar que a mayor superficie específica, mejores serán las características como adsorbente del carbón activado, puesto que también deberíamos tener mayor número de espacios para adsorber el adsorbato. Sin embargo, esto no es siempre cierto, ya que debemos tener en cuenta que dependiendo del tamaño de las moléculas del adsorbato, puede suceder que éstas sean mayores que algunos de los poros, y por tanto, no toda la superficie sea accesible a dichas moléculas.

En numerosas ocasiones también se ha observado que determinados compuestos se adsorben muy bien en un cierto carbón activado, mientras que la adsorción es mucho menor en otros carbones activados, a pesar de poseer éstos una textura porosa, por ejemplo, una distribución de tamaños de poros y superficie específica, muy similar. Esto se debe al importante hecho de que: una elevada superficie específica, con una buena distribución de tamaños de poros que la hagan fácilmente accesible al adsorbato, es una condición necesaria, pero no suficiente, para optimizar la preparación de un carbón activado.

La superficie de los carbones puede encontrarse combinada en mayor o menor proporción con otros átomos distintos al carbono (heteroátomos), dando lugar a diferentes grupos superficiales.

FIGURA 17. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS PRINCIPALES GRUPOS SUPERFICIALES QUE PUEDEN ENCONTRARSE EN UN CARBÓN.



La mayoría de estos grupos son grupos oxigenados, debido a la tendencia de los carbones a oxidarse incluso a temperatura ambiente.

Todos los carbones presentan en principio un carácter hidrófobo, no obstante podemos disminuir este carácter hidrófobo adicionando grupos superficiales polares. Esto puede conseguirse por oxidación con algún tipo de agente oxidante.

Los grupos oxigenados dan lugar a centros primarios de adsorción de moléculas de agua que a su vez adsorberán nuevas moléculas por formación de puentes de hidrógeno. De esta forma se aumenta el carácter hidrófilo y la “mojabilidad” de los carbones.

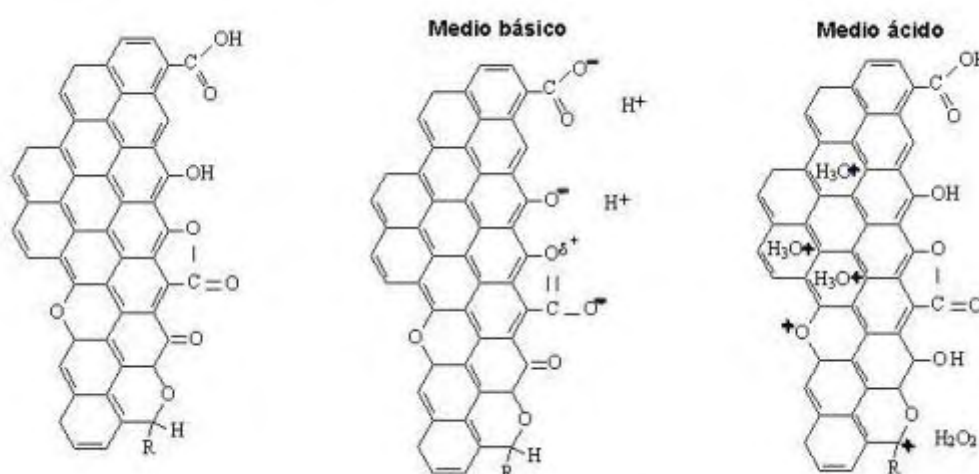
En el caso de la adsorción de compuestos inorgánicos en fase acuosa esto podría resultar beneficioso. Sin embargo, en el caso de que el carbón activado vaya a ser usado para adsorber compuestos en fase gas como es el caso de este proyecto, el hecho de que los poros estén ocupados, o incluso bloqueados, por moléculas de agua puede llegar a disminuir sustancialmente la capacidad de adsorción del carbón. De hecho este efecto combinado de oxidación/adsorción de humedad de los carbones activados se conoce como efecto de envejecimiento (ageing effect) y es algo a evitar en la medida de lo posible, especialmente para las aplicaciones en fase gas.

El que un carbón sea globalmente ácido o básico dependerá tanto de la concentración de estos grupos como de la fuerza como ácido o base de los mismos. De forma intuitiva, se puede deducir que un carbón de tipo básico será preferible para la adsorción de compuestos ácidos que un carbón de tipo ácido y viceversa.

Por otro lado, los grupos ácidos tienden a liberar protones, especialmente en los medios básicos, mientras que los grupos básicos tienden a captarlos cuando se encuentran en un medio ácido. De esta forma pueden aparecer cargas positivas o negativas en la

superficie del carbón. De forma genérica: si el pH del medio es mayor que el punto de carga cero del carbón (pHPZC, pH en el cual el número de cargas positivas es igual al de cargas negativas de forma tal que la carga neta sobre la superficie del carbón es cero), tendremos un predominio de las cargas negativas en la superficie del carbón; por el contrario, si  $\text{pH} < \text{pHPZC}$  obtendremos una superficie cargada positivamente. Las condiciones en las que un carbón tenga una carga neta negativa serán preferibles para adsorber cationes y aquellas en las que presente una carga neta positiva lo serán para adsorber aniones. Dado que el modificar el pH de los efluentes contaminantes no siempre resulta sencillo es preferible optimizar la química superficial del carbón activado teniendo en cuenta los criterios anteriores para que la adsorción sea máxima.

**Figura 18. Diferentes configuraciones en función del pH**



#### 7.2.7.3. REGENERACIÓN DEL CARBÓN ACTIVO

La viabilidad económica de la aplicación del carbón activado depende de la existencia de un medio eficaz para su regeneración y recuperación, una vez agotada su capacidad de adsorción. El carbón activo granular se regenera fácilmente por oxidación de la materia orgánica y su posterior eliminación de la superficie del carbón en un horno. En este proceso se destruye parte del carbón, entre un 5 y un 10%, y es necesario reemplazarlo por carbón nuevo. Es conveniente aclarar que la capacidad de adsorción del carbón regenerado es ligeramente inferior a la del carbón nuevo.

#### 7.2.7.4. PROCESO DE ADSORCIÓN

En términos generales el proceso de adsorción consiste en la captación de sustancias solubles presentes en la interfase de una solución, pudiendo constituirse dicha interfase entre un líquido y un gas, un sólido o entre dos líquidos diferentes.

La capacidad teórica de adsorción de un determinado contaminante por medio de carbón activo se puede determinar calculando su isoterma de adsorción.

La cantidad de adsorbato que puede retener un adsorbente es función de las características y de la concentración del adsorbato y de la temperatura.

En general, la cantidad de materia adsorbida se determina como función de la concentración a temperatura constante, y la función resultante se conoce con el nombre de isoterma de adsorción. Las moléculas en fase gas o de líquido serán unidas físicamente a una superficie, en este caso la superficie es de carbón activo.

El proceso de la adsorción ocurre en tres pasos:

- Macrotransporte: Movimiento del material orgánico a través del sistema de macroporos del carbón activo.
- Microtransporte: Movimiento del material orgánico a través del sistema de microporos del carbón activo.
- Adsorción: Adhesión física del material orgánico a la superficie del carbón activo en los mesoporos y microporos del carbón activo.

El nivel de actividad de la adsorción depende de la concentración de la sustancia en el agua, la temperatura y la polaridad de la sustancia. Una sustancia polar (o lo que es lo mismo soluble en agua) no puede ser eliminada o es mal eliminada por el carbón activo. Cada clase de carbón tiene su propia isoterma de adsorción.

#### 7.2.7.5. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ADSORCIÓN DE COMPUESTOS PRESENTES EN EL AIRE

- El tipo de compuesto que desea ser eliminado: en general los compuestos de alto peso molecular, baja presión de vapor/alto punto de ebullición y alto índice de refracción son mejor adsorbidos.
- La concentración: cuanto mayor sea la concentración, mayor será el consumo de carbón.
- La temperatura: cuanto más baja sea la temperatura, mejor será la capacidad de adsorción.
- Presión: cuanto mayor sea la presión, mayor será la capacidad de adsorción.
- Humedad: Cuanto más baja sea la humedad, mayor será la capacidad de adsorción.

#### 7.2.7.6. CARBÓN ACTIVO EN TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

La adsorción sobre carbón activo, es un método de tratamiento avanzado de agua residual que se emplea para la eliminación tanto de compuestos orgánicos refractarios, como de las concentraciones residuales de compuestos inorgánicos como nitrógenos, sulfuros y metales pesados.

Las elevadas concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente provocan la aparición de depósitos en los granos de carbón, lo cual causa pérdidas de presión, canalización y obstrucción del flujo, y pérdida de capacidad de adsorción.

Si la eliminación de la materia orgánica soluble no se mantiene en límites bajos, puede ser necesario aumentar la frecuencia del proceso de regeneración del carbón. La variabilidad en las condiciones de pH, temperatura y caudal también pueden afectar al rendimiento del carbón activado.

## 8. RESULTADOS FINALES

### 8.1. ADECUACIÓN DEL TERRENO

#### 8.1.1. MOVIMIENTO GENERAL DE TIERRAS

Para la excavación provisional de cada uno de los elementos se ha previsto dejar como mínimo un metro de margen alrededor de éste para facilitar las operaciones de ferrallado y encofrado.

A efecto de medición se ha considerado un desbroce y limpieza del terreno, así como el desmonte y terraplenado (según zonas) para la adecuación del terreno natural a las cotas de urbanización.

#### 8.1.2. CIMENTACIÓN DEL EDIFICIO DE PRETRATAMIENTO

La cimentación de los depósitos se realizará sobre un relleno material granular cuyo fin es el de permitir una mejora en la capacidad de soporte del terreno por encima de los valores mínimos establecidos.

### 8.2. OBRA CIVIL

Se ha dispuesto una tipología de nave industrial de cubrición y cerramiento para albergar el sistema de bombeo, desbaste, tamizado, desarenador y desengrasado, los equipos de producción de aire, desodorización, sala de cuadros generales de control.

La idea principal del dimensionamiento de la nave es hacerla independiente de todos los elementos que se vayan a localizar en el interior de las mismas, de este modo se conseguirá que con el mismo diseño se resuelvan las necesidades de cobertura.

Los condicionantes de dimensionamiento de la nave son los siguientes:

- Dimensiones en planta de la nave: 21 x 12 m. (En el interior de la nave).
- Altura: 8 m. (Desde la zona más alta exterior de la nave).
- Nave industrial diáfana en la zona de equipos, sin pilares intermedios. La zona destinada a cuadros eléctricos será independiente.
- Cubierta a dos aguas (pte 13%).
- Paramentos verticales de cerramientos exteriores, y a base de placas modulares de hormigón armado.
- Una puerta de acceso desde el exterior de 5x5m basculante con paso de hombre.
- Una puerta de doble hoja de 1.8x2.15m para el acceso desde el exterior a la sala de cuadro.

- Ventanas.
- Polipasto para la manipulación de la maquinaria y equipos de la nave. (1600 kg)
- Cimentación superficial mediante zapatas aisladas atadas o centradas en su caso y según convenga.

La nave contiene diferentes estancias, diferenciadas mediante tabiquería. A continuación se describe cada uno de los elementos:

- Sala pretratamiento y sistema de bombeo.
- Sala general de cuadros de control. Se habilita una sala de acceso independiente para alojar los cuadros de control de los equipos dentro del edificio y desodorización.

### 8.3. PRETRATAMIENTO

#### 8.3.1. OBRA DE LLEGADA

En el diseño de la totalidad del edificio de pretratamiento se adopta un caudal máximo de  $646.55\text{m}^3/\text{h}$ . La obra de llegada recibe al colector general para acceder a planta, y permite mediante accionamiento de compuerta mural, el aislamiento general de la planta.

La obra de llegada se construirá en hormigón armado HA-30/B/20/IV+Qb con armadura B 500 S. El espesor de los muros y solera es de 0,30 m.

#### 8.3.2. CANAL DE ENTRADA AL EDIFICIO

El canal de entrada al edificio de pretratamiento poseerá las siguientes características:

Será de sección rectangular, con una pendiente de 0.05%, con una anchura de 0.5 metros y una altura de 1 metro, construido de hormigón.

#### 8.3.3. SISTEMA DE BOMBEO

Se han dispuesto un total de tres (2+1) equipos de bombeo, de caudal unitario de  $325\text{m}^3/\text{h}$ .

El pozo de bombeo cuenta con unas dimensiones de 3.2m de ancho, 3.2m de largo y 7 metros de altura repartidos en 4 metros de profundidad (por debajo del suelo) y 3 metros de altura (sobre el suelo de la nave), siendo los muros de hormigón armado HA-30/B/20/IV+Qb con un espesor de 0,2 m.

#### 8.3.4. SISTEMA DE DESBASTE

En este proyecto se colocaran dos líneas con una reja de finos con una separación de 10mm, inclinadas 75°, autolimpiantes y con un sistema combinado de temporización y pérdida de carga.

También se colocarán de una reja de seguridad para evitar la entrada de muy gruesos al sistema de bombeo, la reja tendrá una separación de 100mm entre barrotes, una inclinación de 75° y será de limpieza manual.

Ambas serán de acero inoxidable AISI 316.

Ambos canales con sus respectivas rejillas tendrán capacidad para trabajar a caudal máximo para el caso de mantenimiento de una de ellas.

#### 8.3.5. TAMICES

En este proyecto se dispondrá de 2 líneas de tamices rotativos autolimpiantes, los tamices deberán pararse en horario de caudal más bajo para realizar el mantenimiento. Ambos tamices conectarán con un contenedor de 1.1m<sup>3</sup> para depositar los residuos sólidos urbanos, el cual deberá ir cubierto y con toma de aire para su desodorización.

Los dos tamices rotativos autolimpiantes seleccionados son Aquaguard de la empresa Hidrotech, sus características técnicas se pueden consultar en el anexo.

#### 8.3.6. DESARENADOR-DESENGRASADOR

El desarenador-desengrasador estará fabricado en la obra civil, y será de hormigón armado.

Tendrá dos canales, y su longitud será de 6 metros y la anchura de cada canal será de 0.6m

##### 8.3.6.1. TRATAMIENTO DE GRASA

Teniendo en cuenta que este tipo de residuo está catalogado como peligroso (RP), su manipulación debe realizarse mediante un gestor autorizado, suponiendo un incremento considerable en los costes de explotación. Por ello, al eliminar la producción de grasas se eliminan los costes derivados de la manipulación, transporte y evacuación de las mismas, además de suponer una medida de mejora en cuanto al impacto ambiental negativo que supone la producción de este tipo de residuos.

#### 8.3.7. RETIRADA DE RESIDUOS

En este proyecto se utilizara un tornillo sinfín tanto para las rejillas de finos y para los tamizados que deberá ir cubierto y tener una toma de aire para así poder desodorizar las emisiones de dentro del mismo.

Las características del contenedor se pueden consultar en el anexo.

## 8.4. DESODORIZACIÓN

### 8.4.1. TIPO DE CARBÓN SELECCIONADO

Un carbón activado estándar presenta muy baja capacidad para adsorber gases y vapores de ácidos minerales ( $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ , etc.) o de ácidos orgánicos de bajo peso molecular. Para resolver dicha limitación, se produce VAPACID PELET, que es el carbón activado comercial con mayor capacidad de adsorción química de compuestos ácidos, entre los que se encuentran los mercaptanos (moléculas orgánicas con un grupo  $-\text{SH}$ , que se caracterizan por un olor fuerte y desagradable).

El carbón activado tipo VAPACID retiene más del doble de  $\text{H}_2\text{S}$  de metilmercaptano que un carbón activado estándar para fase vapor (su capacidad de retención es de 23 % en peso de  $\text{H}_2\text{S}$ ), manteniendo una cierta capacidad de adsorción de compuestos orgánicos.

VAPACID PELET adsorbe más del doble de mercaptanos que un carbón no impregnado, ya que los oxida a disulfuros, que por un lado son menos olorosos, y por el otro, son más fácilmente adsorbibles.

Se fabrica mediante la impregnación de grupos hidroxilo a los átomos de carbono de la red cristalina que constituye a un carbón que, en su calidad de “activado”, posee una gran porosidad. Por lo tanto, en el producto terminado, el carbón aporta su enorme área superficial, y los grupos hidroxilo participan en la quimisorción de los compuestos ácidos.

Para realizar la impregnación, en primer lugar se utiliza un carbón “H” (que se ha activado a alta temperatura, en ausencia de oxígeno, y que se haya enfriado en una atmósfera inerte). El carbón se somete a un proceso de calentamiento a vacío, con el objeto de eliminar los óxidos superficiales que pudieran estar presentes. Este proceso tiene como consecuencia la formación de una superficie cargada positivamente. En segundo lugar se realiza la impregnación en fase acuosa. Posteriormente un lavado para eliminar los óxidos metálicos excesivos y finalmente un secado.

Entre las principales aplicaciones de este producto están: el control de olores tanto de sistemas de drenaje profundo como de plantas de tratamiento de aguas residuales; control de corrosión y protección de componentes electrónicos en ambientes industriales agresivos; control ambiental en museos o en áreas de manufactura de especialidades (tales como circuitos electrónicos, productos farmacéuticos, etc.); control ambiental en procesos que utilizan ácidos minerales.

#### 8.4.1.1. REGENERACIÓN DEL CARBÓN SELECCIONADO

La capacidad de retención de  $\text{H}_2\text{S}$  que tiene el carbón VAPACID puede re-establecerse “in situ”. El procedimiento se basa en lavados con sosa. Con estos lavados se solubilizan los compuestos de azufre y el azufre elemental que se encuentran depositados en los poros del carbón. Por otro lado, se eliminan algunos compuestos



orgánicos, y se restituyen los grupos hidroxilo que serán necesarios para el siguiente ciclo de uso del carbón.

Pasos de la regeneración:

1. Inundar el carbón en una solución de sosa al 5-10 % durante 30 minutos, y vaciar la solución (antes de disponer de esta solución hacia el drenaje u otro punto, es necesario neutralizarla).
2. Repetir el paso anterior dos veces más.
3. Lavar el carbón. Si no se hace este lavado, los hidróxidos excesivos pueden bloquear los poros. El lavado puede realizarse inundando el carbón en agua y vaciando de dos a tres veces. Con este procedimiento, se puede reutilizar el carbón entre tres y cinco veces.

Hay que hacer notar que con el procedimiento anterior no se elimina la totalidad de los compuestos orgánicos adsorbidos por el carbón. Por lo tanto, llegará el momento en el que será necesario reactivar térmicamente el carbón. La regeneración térmica se realiza a una temperatura superior a los 700°C y en una atmósfera de vapor de agua. Este tipo de regeneración puede ser realizada por el fabricante del carbón.

#### 8.4.1.2. ESPECIFICACIONES

Se fabrica en diversos tamaños como: 4x8, 8x14 y 14x30. El más común es el 4x8.

**TABLA 10. ESPECIFICACIONES CARBÓN VAPACID**

<b>ESPECIFICACIONES</b>	<b>VALOR</b>	<b>NORMA</b>
<b>Capacidad de retención de H<sub>2</sub>S (g de H<sub>2</sub>S/cm<sup>3</sup> de carbón)</b>	0.11	Carbotecnia
<b>Actividad al CCl<sub>4</sub> (% en peso, mín.)</b>	50	ASTM D-3467
<b>Número de yodo (mg/g mín.)</b>	1000	ASTM D-4607
<b>Humedad al empacar (% , máx.)</b>	15	ASTM D-2867
<b>Partículas mayores a la maya (US Standard mesh) No. 4 (% , máx.)</b>	5	ANSI/AWWA B 604-90
<b>Partículas menores a la malla (US Standard mesh) No. 10 (% , máx.)</b>	5	ANSI/AWWA B 604-90
<b>Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	0.52-	ASTM D-2854
<b>Dureza (mín.)</b>	98	ASTM D-3802
<b>pH del extracto acuoso (mín.)</b>	10	ASTM D-3838

Nota: Excepto la capacidad de retención de H<sub>2</sub>S, la humedad y el pH del extracto acuoso, las demás especificaciones corresponden al carbón antes de impregnarse.

#### 8.4.2. CONDICIONES DE DESODORIZACIÓN

El edificio contará con 18 tomas de desodorización, las cuales se detallan más adelante. No será necesario colocar tomas de desodorización en el edificio ya que todos los puntos que generan olor tendrán toma de absorción.

La desodorización será automática, y sus renovaciones por hora variarán en función de la concentración de  $H_2S$  en el edificio.

- 2 renovaciones por hora  $[H_2S] \leq 1\text{ppm}$
- 5 renovaciones por hora  $1\text{ppm} \leq [H_2S] \leq 5\text{ppm}$
- 10 renovaciones por hora  $5\text{ppm} \leq [H_2S] < 10\text{ppm}$
- Max caudal posible a desodorizar:  $[H_2S] \geq 10\text{ppm}$

También se instalará una alarma para avisar a los operarios de la prohibición de entrar al edificio en el caso de que este supere la concentración de 10ppm de  $H_2S$

##### 8.4.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL AIRE A DESODORIZAR

En el caso de esta planta, las sustancias olorosas vendrán producidos por los compuestos de azufre, de hecho, la composición más habitual de los gases olorosos en una EDAR es  $H_2S + CH_3SH + (CH_3)_2S_2 + NH_3$

Los compuestos de azufre provienen de los vertidos domésticos tales como detergentes o presentes en los compuestos de las proteínas excretadas por los seres humanos. En estos vertidos también están presentes los sulfatos, precursores de los sulfuros, cuyo origen principal está en las aguas de abastecimiento. La formación de sulfuros en las aguas residuales tiene lugar a partir de los sulfatos por la acción metabolizante de ciertas bacterias sulforreductoras que están presentes en dichas aguas y en las paredes de los conductos. Otros aportes de sulfuros inorgánicos provienen de vertidos industriales como cerveceras, refinerías de aceite, papeleras...

Los sulfuros son los responsables principales de ennegrecimiento de las aguas residuales y de los fangos, debido a la formación de sulfuro ferroso y otros sulfuros metálicos de color negro. La presencia de sulfuro de hidrógeno está garantizada, a no ser que el pH sea superior a 9, con lo cual la atmosfera en contacto con el agua también será portadora de dicho compuesto.

La composición del aire atmosférico seco tiene un  $2 \cdot 10^{-8}\%$  en volumen de  $H_2S$ , con una composición superior a esto es considerado un contaminante atmosférico.

Las principales fuentes de malos olores y la liberación potencial relativa de los mismos se presentan en la siguiente tabla obtenida en un estudio de eliminación de olores en 1999.

**TABLA 11. POTENCIAL DE LAS PRINCIPALES FUENTES DE MALOS OLORES**

<b>Fuente</b>	<b>Liberación de olores</b>
<b>Tratamiento local</b>	
<b>Tanque séptico</b>	Moderada
<b>Tanque imhoff</b>	Alta
<b>Sistema de recolección</b>	
<b>Válvulas aliviadoras de presión</b>	Alta
<b>Pozo de limpieza</b>	Alta
<b>Pozos de inspección</b>	Alta
<b>Estación de bombeo</b>	Alta
<b>Planta de tratamiento</b>	
<b>Cabecera</b>	Alta
<b>Tamizado</b>	Alta
<b>Homogeneización del caudal</b>	Alta
<b>Pre aireación</b>	Alta
<b>Remolición de arenas</b>	Alta
<b>Manejo de lodos</b>	Alta
<b>Líneas de retorno</b>	Alta
<b>Clarificadores primarios</b>	Alta
<b>Filtros percoladores</b>	Moderada
<b>Aireación</b>	Baja
<b>Lagunas</b>	Moderada
<b>Manejo de lodos</b>	
<b>Espesadores</b>	Alta
<b>Digestión aerobia</b>	Moderada
<b>Digestión anaerobia</b>	Alta
<b>Tanque de almacenamiento de lodos</b>	Moderada
<b>Deshidratación</b>	Alta
<b>Compostaje</b>	Alta

En dicho estudio también se dice que el pretratamiento es, potencialmente, fuente de olor porque procesan las partículas orgánicas y detritus contenidos en agua bruta. La acumulación en estos canales, rejillas y trituradoras pueden generar olores si no se realiza una limpieza regular. La extracción y el sistema de conducción de arenas también pueden generar olores por el revestimiento orgánico de las áreas.

Lo ideal es conducir todos los residuos a contenedores cerrados para minimizar el escape de olores y ahí, colocar una toma de desodorización.

Otro aspecto importante es la cubrición de todas las unidades correspondientes al pretratamiento, de forma que los gases olorosos que se puedan generar, se conduzcan hacia el sistema de eliminación de olores.

El compuesto para el que se va a diseñar el sistema de desodorización será para el sulfuro de hidrógeno, ya que se trata de un compuesto altamente tóxico y corrosivo. El umbral de toxicidad está en 10ppm o  $14\text{mg/m}^3$  y el umbral de percepción, que es la concentración necesaria de moléculas olorosas que debe tener el aire para que su percepción sea detectada por el 50% de las personas de un grupo de la población es de  $45 \cdot 10^{-5}\text{ppm}$  o  $55 \cdot 10^{-5}\text{mg/m}^3$ . Lo que indica que para eliminar la molestia de la percepción del olor, se debe llegar a un grado de eficacia cercana al 100% de eliminación del sulfuro de hidrógeno.

El objetivo principal es eliminar la concentración de compuestos olorosos ( $\text{H}_2\text{S}$ ) con un rendimiento del 99% para paliar los posibles daños sobre los seres humanos, animales, plantas, patrimonio, etc., así como no sobrepasar el límite de emisión máxima autorizada (20ppm para  $\text{H}_2\text{S}$ )

#### 8.4.2.2. MEDIDOR DE $\text{H}_2\text{S}$ Y ALARMA

El medidor de  $\text{H}_2\text{S}$  de referencia se encontrará a la entrada del sistema de bombeo que es el lugar donde más sulfuro de hidrógeno se liberará debido a la turbulencia.

Se colocarán otros medidores al lado de los contenedores de residuos de rejillas y tamices y uno en la puerta del edificio

También se instalará una alarma a partir de 10ppm de concentración de  $\text{H}_2\text{S}$  para avisar a los operarios de la obligación de desalojar el edificio.

#### 8.4.2.3. OLORES

El problema más importante es establecer la cantidad de olores que generan las aguas residuales en las E.D.A.R. en la etapa de proyecto, cuando las instalaciones aun no están en funcionamiento.

En numerosas publicaciones se exponen las concentraciones de determinados compuestos que producen olor expresadas en  $\text{mg/m}^3$  de aire, de forma independiente de los caudales de agua tratados. Es obvio, que la generación de olores de una cantidad determinada de agua depende directamente de la superficie en contacto con la atmósfera, de su grado de agitación y, por supuesto, de las temperaturas del agua y del aire de su entorno.

De varios estudios olfatométricos realizados en E.D.A.R. de varias zonas de España, se propone, como primera aproximación, las siguientes producciones de olores en función de la superficie de contacto:

**TABLA 12.PRODUCCIÓN DE OLORES (UOE/M<sup>2</sup> DE SUPERFICIE EN CONTACTO LIQUIDO-AIRE/HORA)**

	<b>Baja</b>	<b>Media</b>	<b>Elevada</b>
<b>Bombeo</b>	100000	150000	300000
<b>Canal de desbaste</b>	100000	150000	300000
<b>Zona de contenedores</b>	300000	450000	900000
<b>Desarenador</b>	12500	18750	37500
<b>Canal alimentación a decantación</b>	75000	125000	275000
<b>Decantación primaria</b>	50000	100000	250000
<b>Canal de alimentación a biológico</b>	5000	10000	25000
<b>Balsas biológicas zonas no aireadas</b>	5000	10000	25000
<b>Balsas biológicas zonas aireadas</b>	2500	5000	12500
<b>Decantador secundario</b>	3750	7500	18750
<b>Canal de agua de salida</b>	2500	5000	12500
<b>Tamices de fangos</b>	300000	450000	900000
<b>Espesadores de gravedad</b>	300000	450000	900000
<b>Espesadores de flotación</b>	2500	5000	12500
<b>Postespesadores</b>	300000	350000	450000
<b>Centrifugadoras</b>	300000	350000	450000
<b>Almacenadores de fango</b>	300000	350000	450000

Según la norma EN 13725 se define la unidad de concentración europea por metro cúbico (UOE/m<sup>3</sup>) como aquella sustancia o mezcla de sustancias que diluida en 1 m<sup>3</sup> de gas neutro en condiciones normales, es distinguida de aire exento de olor por el 50% de los panelistas (D<sub>50</sub>: Umbral de detección)

Evidentemente, se considera necesario que, una vez puesta en marcha la E.D.A.R. se hagan mediciones periódicas (aconsejable semestralmente, mínimo una vez al año) de la producción de olores para verificar no solo que la producción de olores sea inferior a la prevista, sino que el sistema de tratamiento de aire garantiza que en el entorno se producen las condiciones deseadas.

## 8.4.2.4. DISTRIBUCIÓN DE LA INSTALACIÓN DE DESODORIZACIÓN

Se distribuye a lo largo de los elementos de la EDAR una red de tuberías de captación de gases emanados, los elementos servidos por dicha red son:

TABLA 13. LOCALIZACION Y NÚMERO DE TOMAS

	<b>Tomas</b>
<b>Bombeo</b>	3
<b>Desbaste</b>	5
<b>Contenedores</b>	2
<b>Desarenador</b>	4
<b>Aliviadero</b>	2
<b>Clasificador de arenas</b>	1
<b>Desnatador</b>	1

En todos los casos los elementos desodorizados han sido cerrados o cubiertos por tapas de PRFV.

Los materiales previstos para las tuberías de la red de desodorización es el polipropileno.

## 8.4.2.5. PARÁMETROS DE DISEÑO

Para diseñar un sistema de desodorización de una E.D.A.R. se propone partir de los siguientes supuestos:

- 1) Tomar como producción de olores el valor medio de la tabla 12, salvo que se tengan otros valores contrastados.
- 2) Establecer el nivel de 5 uoE/m<sup>3</sup> percentil 98 recomendado en el borrador de la IPPC denominado “Horizontal Guidance for Odour”, publicado por la Agencia de Medio Ambiente de Inglaterra y Gales en colaboración con la Agencia de Protección Medioambiental de Escocia (SEPA) y el Servicio de Medio Ambiente de Irlanda del Norte, como nivel que garantiza que las molestias al entorno no son apreciables.
- 3) Establecer como máxima concentración de olores, a la entrada del sistema de tratamiento, 5.000 UOE/m<sup>3</sup> (equivalente a 5ppm)
- 4) Establecer como rendimiento medio del sistema de desodorización el 99% en la reducción de las unidades olfatómetricas
- 5) Establecer la altura de la chimenea para una salida de aire desodorizado.
- 6) Establecer como máxima concentración de olores en el interior de recintos de la E.D.A.R.:

- a. Sin presencia de operarios 50.000 UOE/m<sup>3</sup> (equivalente a 50ppm), siempre y cuando cualquier fallo del sistema de desodorización no lleve este aire contaminado a recintos cerrados donde pueda haber presencia de operarios.
- b. Con presencia esporádica de operarios 10.000 UOE/m<sup>3</sup> (equivalente a 10ppm), es muy probable que no se superen los umbrales de exposición máximos permitidos por la legislación vigente, una concentración de 10ppm de sulfuro de hidrógeno (SH<sub>2</sub>), no obstante las condiciones de confort, en cuanto a olores, no serán las más adecuadas posibles y, es muy probable, que se requiera el uso de protecciones individuales para poder entrar en esas zonas.
- c. Con presencia continuada de operarios 1.000 UOE/m<sup>3</sup> (equivalente a 1ppm), es posible asegurar que el nivel de confort de los operarios no se verá afectado en cuanto a los olores presentes en la sala y no deberán de adoptar medidas protectoras de ningún tipo.

#### 8.4.2.6. ANÁLISIS DE RIESGOS

El análisis de riesgos es un ejercicio necesario para poder evaluar el nivel de competencia de la instalación y las consecuencias que pueden derivarse de fallos en el sistema que impidan obtener los resultados previstos.

A continuación se recoge una propuesta para un análisis de riesgos general para una E.D.A.R., bien entendido que, en cada E.D.A.R. es necesario realizar un análisis de riesgos particularizado que tenga en cuenta las individualidades de las instalaciones que la componen.

##### 8.4.2.6.1. DESCRIPCIÓN DE LOS FALLOS DEL SISTEMA

Los fallos que se pueden producir en el sistema de desodorización son:

- 1) Aumento de la concentración de olores en el interior, puede estar motivada por varias causas:
  - Arrastre de olores desde el colector.
  - Producción mayor de olores de los previstos.
  - Desequilibrio en la producción de olores con incrementos en unas zonas y decrecimientos en otras.
  - Mantenimiento correctivo en extractores.
- 2) Aumento de la concentración de olores en el exterior, puede ser debido a:
  - Producción mayor de olores de los previstos.
  - Fugas incontroladas de olores.
  - Fallos en la instalación de desodorización debida a:
    - o Agotamiento de la capacidad de adsorción del carbón activo.
    - o Mal mantenimiento del sistema.

- 3) Presencia de contaminantes corrosivos o agresivos, como consecuencia de su presencia en las aguas residuales a depurar podría plantear riesgos para las personas y para los componentes de los diferentes equipos.

#### 8.4.2.6.2. DETERMINACIÓN DE DAÑOS

Los daños por el aumento de la concentración de olores en el interior pueden ser:

- 1) Peligro para la salud de los trabajadores
- 2) Sobrecargas al sistema de desodorización y salida de olores al exterior Los daños por el aumento de la concentración de olores en el exterior pueden ser:
  - Impacto ambiental
  - Sanciones económicas
  - Peligro para la salud de terceros

Los daños por la presencia de componentes corrosivos o agresivos pueden ser:

- 1) Peligro para la salud de los trabajadores
- 2) Arrastre al sistema de desodorización y vertidos al exterior
- 3) Reducción de la vida útil de los equipos

#### 8.4.2.6.3. ANÁLISIS DE RIESGOS

Los daños por el aumento de la concentración de olores en el interior son considerables por lo que sería conveniente disponer de medidas preventivas para que, en el caso de que se produzca, se minimicen los riesgos, es aconsejable:

- 1) Realizar revisiones periódicas, aconsejablemente una al semestre, para medir el nivel de olores en las diferentes zonas.
- 2) Disponer de espacio, en todas las zonas, para poder instalar, en el futuro, desodorizaciones puntuales bien por equipos compactos bien por aerosoles.
- 3) Prever la posibilidad de retornar al colector parte de los olores generados en las zonas de obra de llegada y desarenadores.

Los daños por el aumento de la concentración de olores son en el exterior son muy elevados por lo que sería muy aconsejable disponer de una capacidad de respuesta adecuada, como las que se exponen a continuación:

- 1) Dotar a los extractores y ventiladores principales del sistema de desodorización de variadores de frecuencia
- 2) Dotar a los extractores y ventiladores principales del sistema de suficiente potencia para poder trabajar con velocidades hasta 15 m/seg en los conductos.
- 3) Disponer de espacio, en todas las zonas, para poder instalar, en el futuro, desodorizaciones puntuales bien por equipos compactos bien por aerosoles.



Los daños por la presencia de componentes corrosivos o agresivos son considerables por lo que sería conveniente disponer de medidas preventivas:

- 1) Establecer un reglamento de vertidos que impida, a los usuarios, verter dichos componentes a las aguas residuales.
- 2) Realizar revisiones periódicas, aconsejablemente una al semestre, para medir el nivel de dichos componentes.
- 3) Instalar detectores específicos para los componentes con un protocolo de acceso en función de los niveles detectados.
- 4) Disponer, si es posible, en todas las zonas de sistemas puntuales captadores de estos componentes.
- 5) Dotar a los operarios de las protecciones colectivas e individuales necesarias para poder trabajar en dicho entorno con las garantías adecuadas.
- 6) Disponer de poder inyectar aire de otras zonas menos contaminadas a zonas con mayor contaminación para arrastrar los componentes.

## 8.5. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

### 8.5.1. CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

El Centro estará ubicado en una caseta independiente destinada únicamente a esta finalidad. Será de 800 KVA con reserva para otra máquina.

La caseta será de construcción prefabricada de hormigón tipo M11CT2LPF con una puerta peatonales de Merlin Gerin.

### 8.5.2. GRUPO ELECTRÓGENO

Se ha previsto la existencia en planta de un grupo electrógeno para asegurar el suministro eléctrico a la planta en caso de interrupción del mismo. Dicho grupo se ha dimensionado estudiando la potencia necesaria para alimentar los equipos cuyo funcionamiento, desde el punto de vista de la explotación, se ha considerado necesario en caso de emergencia. En el anejo de cálculos eléctricos se detallan los cálculos realizados, adoptándose un grupo de potencia nominal 220 kVA insonorizado.

### 8.5.3. FUERZA EN BAJA TENSIÓN

Desde el Centro de transformación se alimenta mediante los pasos efectuados en la solera del edificio el cuadro general de baja tensión. Desde dicho cuadro partirán las líneas que alimenta al CCM del pretratamiento, colocándose en el mismo las protecciones tanto de la línea general de alimentación como de los diversos circuitos.

Los cálculos y especificaciones no pueden encontrarse ya que en este proyecto no se diseña la totalidad de una EDAR. Debe contar con:

- a) Protección de todos los motores compuesta por:
  - Diferenciales
  - Disyuntores
  - Contactores
  - Relés industriales
  - Relés térmicos
  - Selectores Manual - 0 - Remoto (M/O/R)
  - Bobinas 400/230 V y 24 V
  - Pilotos de funcionamiento o paro (verde o rojo)
  - Botoneras de paro - marcha para cada motor, ubicadas en campo para cada uno y junto los receptores.
- b) Paro de Emergencia:

El CCM del pretratamiento llevará seta de emergencia general.

- c) Ventilación y caldeo:

El CCM del edificio de pretratamiento está dotado de ventiladores de techo por armario (excepto en los paneles de autómatas), ventilación para toma de aire, resistencias de caldeo y termostatos.

- d) Aparamenta de Arranque:

El arranque de todos los motores se ha previsto sea directo, con las siguientes excepciones:

- Arranque estrella-triángulo o arrancador estático para el ventilador del sistema de desodorización.
- Con variador de Velocidad para las bombas

- e) Compensación del factor de Potencia

Dado que los equipos que trabajan a altas potencias llevarán colocado un variador de frecuencia, no se estima imprescindible colocarlo.

#### 8.5.4. LÍNEAS DE ALIMENTACIÓN

Se ha previsto que los cables discurren por el interior de los edificios bajo bandeja de PVC, salvo en el caso de discurren por locales que puedan ser clasificados como húmedos donde se empleará tubo liso de PVC sobre pared, tal y como se indica en ITC BT 30.

### 8.5.5. INSTALACIÓN GENERAL DE TIERRAS

Además de la tierra de protección prevista para el transformador se ha previsto la consecución de una red de tierras en el edificio, mediante la unión de los armados del edificio, entre ellos y con los demás armados de los edificios, con conductor desnudo de cobre de  $50\text{mm}^2$  de sección. Dicha instalación se completará con picas de 16mm de diámetro y 2m de longitud hincadas verticalmente en el fondo de la zanja prevista para la instalación de las conducciones enterradas.

Adicionalmente, se instalará un equipo de pararrayos iónico para protección de los equipos del edificio.

### 8.6. TUBERÍAS Y CONDUCCIONES

Una vez el agua entra en la planta depuradora, se proyectan diferentes tramos de tubería cuyas características principales se indican en la tabla que aparece en este apartado.

El trazado de las conducciones se ha diseñado intentando, en la medida de lo posible, minimizar la longitud de tuberías y el número de codos.

A continuación, se enumeran las diferentes tuberías con su código, nombre, diámetro y material:

**TABLA 14. CARACTERÍSTICAS TUBERIAS**

Nombre	Diámetro	Material
Elevación a canal	250	Polietileno de alta densidad (PEAD)

A continuación, se enumeran las diferentes canales con su nombre, diámetro y material:

**TABLA 15. CARACTERISTICAS CANALES**

Nombre	Sección Anchura x altura	Material
Entrada a bombeo (atravesando la reja autolimpiante)	0.5x1	Hormigón armado
Canal a reja	0.5x1	Hormigón armado
Reja a tamiz	0.5x1	Hormigón armado
Tamiz a desarenador	0.5x1	Hormigón armado
Desarenador a aliviadero	0.5x1	Hormigón armado

## 9. PLANIFICACIÓN

El Plan de Obra que se concreta en los apartados siguientes, debe considerarse como una propuesta orientativa, que será desarrollada y convenientemente justificada por la empresa Contratista adjudicataria de las obras.

Para lograrlo, se ha realizado una primera identificación de las diferentes actividades que componen el proyecto, obteniendo la medición empleada en cada una de ellas y, de esta manera, determinar los diferentes equipos mecánicos y humanos más acordes para conseguir un elevado rendimiento en la ejecución de las diferentes unidades de obra contempladas.

El siguiente paso consiste en determinar el procedimiento constructivo que fijará la secuencia de trabajo, para las diferentes actividades en las que se ha descompuesto la totalidad de la obra.

Se definen así, una serie de actividades conformadas por una o varias unidades de obra, que reflejan las distintas operaciones necesarias para la ejecución de la misma, fijando para cada una de ellas la duración resultante en función de los rendimientos considerados en la justificación de precios y del número de equipos previstos, así como las relaciones existentes con las restantes.

Por último, el resultado de plasmar sobre calendario las fases comentadas, queda reflejado en un Plan de Obra que determina el plazo de ejecución previsto.

No obstante, para conseguir un reflejo del Plan de Obra a la realidad de la misma, se definen unos coeficientes de ponderación, como consecuencia de las afecciones climatológicas que se pueden dar en las obras.

Finalmente cabe reseñar que para una mayor seguridad en el cumplimiento de los plazos indicados para las obras objeto del proyecto, para cada una de las distintas actividades analizadas se han tomado rendimientos menores, por lo que no sería extraño que se consigan producciones con un rendimiento superior, en condiciones no adversas para la ejecución de los trabajos.

### 9.1. CALENDARIO Y JORNADA LABORAL

Se ha tenido en cuenta la existencia de fiestas nacionales, autonómicas y locales en el calendario laboral sobre el que se ha realizado la planificación.

La jornada laboral se ha considerado de 8 horas útiles de trabajo, con cinco días de trabajo semanal. Se estima un período medio de 22 días laborables por mes de ejecución.

Este calendario laboral y el establecimiento de la jornada laboral han servido como base para la elaboración del plan de trabajos con el fin de obtener un plazo de ejecución de las obras lo más ajustado a la realidad.

Este plazo de ejecución de las obras se considera teórico, ya que se ve afectado por retrasos ocasionados debido a inclemencias de tipo meteorológico.

Con el fin de considerar en la programación de las obras los días de climatología adversa, se ha tenido en consideración unos coeficientes de reducción a aplicar a los días laborables y que han de determinarse para cada una de las diferentes actividades en las que se ha considerado la obra.

## 9.2. PLAZO DE EJECUCIÓN

La aplicación de los procesos definidos en los puntos anteriores para las diferentes actividades consideradas, junto a las duraciones calculadas para cada una de ellas, lleva a obtener el correspondiente plan de trabajos.

Para la ejecución de las obras proyectadas y de acuerdo con el Programa de Trabajos, se estima suficiente un plazo de doscientos veinte días (220).

TABLA 16. PLAN DE CONSTRUCCIÓN

Tarea	Duración (días)
<b>Movimiento de tierras</b>	20
<b>Obra civil</b>	90
<b>Equipamiento</b>	20
<b>Equipamiento electromecánico</b>	45
<b>Equipos eléctricos</b>	40
<b>Automatización</b>	30
<b>Puesta en marcha y pruebas de funcionamiento</b>	40
<b>Seguridad y salud</b>	220



## 10. ORDEN DE PROPIEDAD ENTRE LOS DOCUMENTOS BÁSICOS

Tal y como se establece en la norma UNE 157001:2002 el orden de propiedad entre los documentos básicos será:

1. Planos.
2. Pliego de condiciones.
3. Presupuesto.
4. Memoria.

Anexos





## ÍNDICE

1. Documentación de partida
2. Cálculos justificativos
3. Gestión de residuos de obra
4. Seguridad y salud
5. Especificaciones técnicas



1. Documentación de partida
2. Cálculos justificativos



## ÍNDICE

1.	Documentación de partida	5
2.	Cálculos justificativos	5
2.1.	Variación de la población	5
2.2.	Caudales de diseño	7
2.2.1.	Caudal medio	7
2.2.2.	Caudal de diseño	8
2.2.3.	Caudal máximo	8
2.2.4.	Caudal de punta	8
2.2.5.	Caudal mínimo	8
2.3.	Canal de entrada	9
2.4.	Sistema de bombeo	11
2.4.1.	Calculo de la potencia de la bomba	11
2.4.2.	Elección de la bomba	11
2.5.	Desarenador-desengrasador	11
2.5.1.	Sección transversal	13
2.5.2.	Longitud del desarenador	15
2.6.	Aliviadero	17
2.7.	Residuos generados	19
2.7.1.	Reja de muy gruesos	19
2.7.2.	Reja de finos	19
2.7.3.	Tamices	20
2.7.4.	Desarenador-desengrasador	20
2.7.4.1.	Arenas	20
2.7.4.2.	Grasas	20
2.8.	Desodorización	20
2.8.1.	Determinación del número de unidades del sistema de tratamiento de aire	20
2.8.2.	Determinación del caudal de aire a tratar	21
2.8.3.	Determinación del caudal mínimo de aire a extraer	22
2.8.4.	Calculo de la sección de tubo de desodorización en cada zona	23
2.8.5.	Balance de materia al sulfuro de hidrógeno	26
2.8.6.	Duración del carbón activo	27



## TABLAS

Tabla 1. Dotación de abastecimiento	5
Tabla 2. Consumo urbano según usos.	6
Tabla 3. Datos de partida para el diseño del canal de entrada	9
Tabla 4. PArámetros calculados en el diseño del canal de entrada	10
Tabla 5. RELación temperatura, densidad y viscosidad dinámica	12
Tabla 6. Datos de partida para el diseño del desarenador-desengrasador	12
Tabla 7. Determinación de la velocidad de caída	13
Tabla 8. Velocidades de sedimentación del desarenador-desengrasador	13
Tabla 9. Datos de partida para el diseño de la sección transversal del desarenador-desengrasador	14
Tabla 10. PArámetros de diseño de la sección transversal del desarenador-desengrasador	15
Tabla 11. Datos de partida para el diseño de la longitud del desarenador-desengrasador	15
Tabla 12. Parámetros calculados para determinar la longitud del desarenador-desengrasador	16
Tabla 13. Parámetros de partida para el diseño del aliviadero	17
Tabla 14. ¿?	19
Tabla 15. Parámetros del CÁLCULO de diseño del aliviadero	19
Tabla 16. Superficie, caudales y tomas en las diferentes zonas a desodorizar	23
Tabla 17. Diámetro de tuberías en diferentes zonas	25

## FIGURAS:

Figura 1. Evolución del consumo de agua a lo largo de un día	7
Figura 2. Perfil canal de entrada	9
Figura 3. Sección transversal del desarenador-desengrasador	14
Figura 4. Curvas de Hazen	16





## 1. DOCUMENTACIÓN DE PARTIDA

Se supone una población de 20000 habitantes, en el entorno de Castellón.

El agua a depurar es tanto urbana como industrial y se considera una contaminación media.

La parcela de construcción será de tipo agrícola.

## 2. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

### 2.1. VARIACIÓN DE LA POBLACIÓN

Para una población de 20.000 habitantes y previendo que el proyecto tenga una vigencia de 25 años, como no se disponen de datos estadísticos para poder prever la población futura, se ha realizado una aproximación extrapolando, a partir de la población actual ( $P_0$ ), la población previsible dentro de “t” años aplicando la siguiente ecuación donde el coeficiente “ $\alpha$ ” es la tasa de aumento de población que varía desde 0.00 (para poblaciones estancadas) y 0.02 (para poblaciones de muy alto índice de crecimiento). Se ha utilizado un valor de intermedio  $\alpha=0.01$

$$P_t = P_0 \cdot (1 + \alpha)^t = 20000 \cdot (1 + 0.01)^{25} = 25649 \text{ habitantes}$$

Además del número de habitantes de la población se debe tener en cuenta la población transeúnte, es decir, que no tiene su residencia en dicha zona pero que va a verter una cantidad considerable de agua al sistema de alcantarillado. Esta población no es fija, y normalmente suele ser estacional o que trabajan en dicha zona urbana. Para esto, se multiplica la población obtenida en la ecuación anterior por un factor de un 10%, obteniendo así pues, se obtiene una población de 28214 personas.

El aspecto principal para realizar el diseño del pretratamiento y desodorización es determinar el caudal a tratar. De los datos bibliográficos (CEDEX 2008, tomo III, tema 32, pág. 2) se extraen los siguientes datos.

TABLA 1.DOTACION DE ABASTECIMIENTO

Habitantes equivalentes	Dotación de abastecimiento
<20000	150-200l/hab/día
20000-50000	200-250l/hab/día
>50000	250-300l/hab/día

Por lo tanto, interpolando se ha elegido una dotación de 220l/hab/día.

$$Q = 28214 \text{ personas} \cdot 220 \frac{l}{\text{persona} \cdot \text{día}} = 6207080 \frac{l}{\text{día}} = 6207 \frac{m^3}{\text{día}}$$

$$= 258.62 \frac{m^3}{h}$$

El conocimiento de los caudales y características de las aguas residuales generadas en la zona urbana es básico para el correcto diseño y dimensionamiento del sistema de pretratamiento.

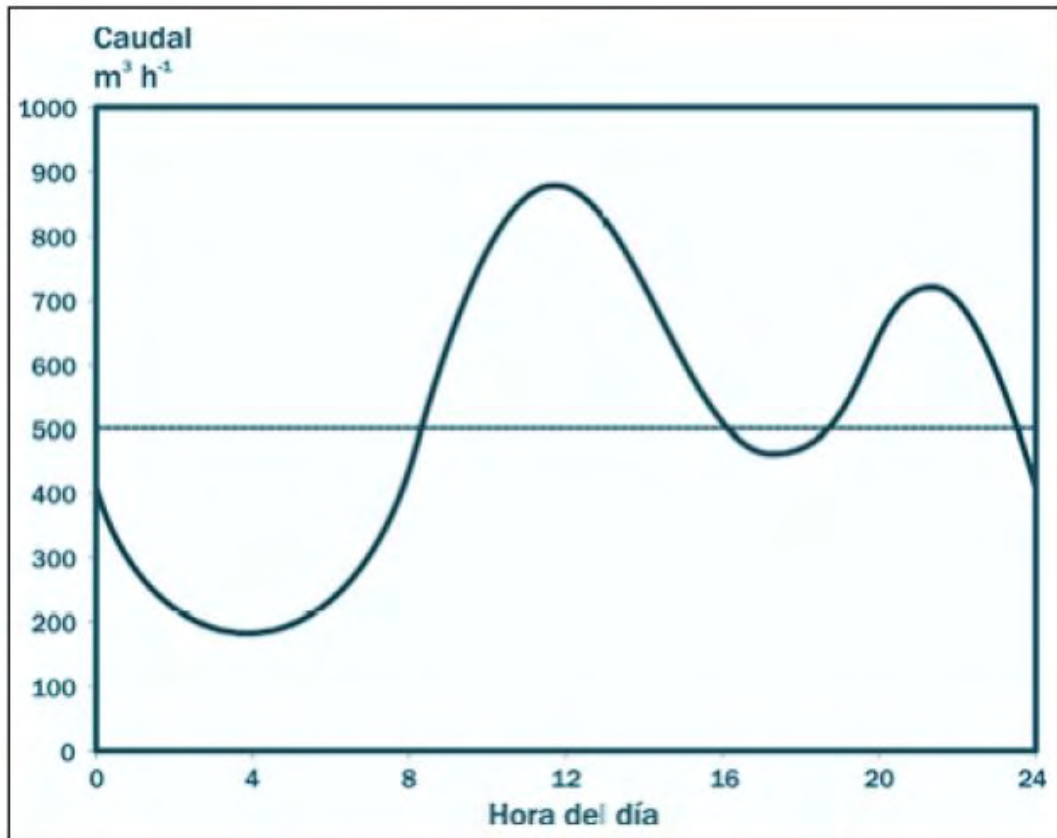
Las necesidades medias de aporte de agua a una población se puede estimar a partir de la población prevista, así como de las dotaciones que se vayan a construir tales como centros educativos, hospitales... Al no disponer de datos sobre este tipo de establecimientos, según las instrucciones para la redacción de proyectos de abastecimiento y saneamiento de agua, dictadas en el contexto geográfico español por el Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente en 1995, se establecen las dotaciones de abastecimiento para los distintos rangos poblacionales, en la siguiente tabla se muestra el consumo urbano según usos.

**TABLA 2. CONSUMO URBANO SEGÚN USOS.**

Población (habitantes)	Consumos urbanos en litros por habitante y día, según usos				
	Doméstico	Industrial	Servicios municipales	Fugas de redes y varios	TOTAL
hasta 1000	60	5	10	25	100
1000-6000	70	30	25	25	150
6000-12000	90	50	35	25	200
12000-50000	110	70	45	25	250
50000-250000	125	100	50	25	300
Más de 250000	165	150	60	25	400

El caudal no es constante durante todo el día, sino que varía en función de la hora y el consumo de la población, en el siguiente gráfico se muestra la evolución del caudal de aguas residuales a lo largo de un día, sino que tiene ciertos picos como se muestra en la figura siguiente, lo que implica que el caudal de agua no será constante a lo largo de todo el día.

FIGURA 1. EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DE AGUA A LO LARGO DE UN DÍA



## 2.2. CAUDALES DE DISEÑO

### 2.2.1. CAUDAL MEDIO

El caudal medio diario ( $Q_{\text{medio}}$ ) es la suma de las aguas urbanas mas las industriales asimilables a urbanas. Se puede calcular a partir de series estadísticas de datos o a partir del caudal de agua suministrado, tal y como se muestra en la siguiente ecuación.

$$Q_{\text{medio}} = \frac{P \cdot D}{24 \cdot 1000} = \frac{28214 \cdot 220}{24 \cdot 1000} = 258.62 \text{ m}^3/\text{h}$$

Siendo:

$Q_{\text{medio}}$ : caudal medio ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

P: población ( $n^\circ$  habitantes)

D: dotación ( $\text{l}/\text{hab}/\text{día}$ )

### 2.2.2. CAUDAL DE DISEÑO

Se debe tener en cuenta que sólo entre el 60% y el 85% del agua de abastecimiento consumida se transforma en aguas residuales, el resto de estas aguas se utiliza como riego de zonas verdes, fugas, procesos productivos... De manera que el caudal a tratar se calcula en función de la población servida, el consumo medio por habitante y un coeficiente “k” que suele tomar el valor de 0.8 como indica la siguiente ecuación:

$$Q_{diseño} = k \cdot Q_{medio} = 0.8 \cdot 258.62 = 206.90 \text{ m}^3/h$$

### 2.2.3. CAUDAL MÁXIMO

El caudal máximo ( $Q_{max}$ ) se suele utilizar para el dimensionado de aquellos elementos que tienen retención hidráulica. Puede estimarse gracias a un coeficiente de punta ( $k_p$ ) que relaciona el caudal medio con el caudal máximo. En la siguiente ecuación,  $k_p$  puede tomar un valor comprendido entre 1.5 y 2.5. En este caso, se optará por tomar el mayor valor.

$$Q_{máximo} = k_p \cdot Q_m = 2.5 \cdot 258.62 = 646.55 \text{ m}^3/h$$

### 2.2.4. CAUDAL DE PUNTA

El caudal de punta ( $Q_p$ ) como aproximación, se puede considerar que el caudal de punta será 1.8 veces mayor que el caudal medio para carga orgánicas de naturaleza doméstica.

$$Q_p = k \cdot Q_m = 1.8 \cdot 258.62 = 465.52 \text{ m}^3/h$$

### 2.2.5. CAUDAL MÍNIMO

El caudal mínimo ( $Q_m$ ) es el caudal ligado a épocas de sequía. Puede estimarse gracias a un coeficiente que relaciona el caudal medio con el caudal mínimo. El caudal mínimo puede tomar un valor comprendido entre el 30% y 50% del caudal medio. En este caso, el valor de k será 0.3, es decir, un 30%

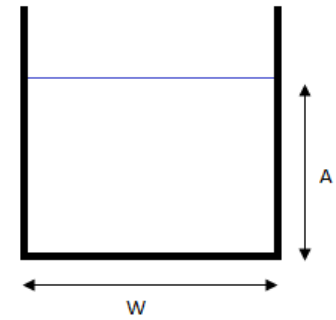
$$Q_{min} = k \cdot Q_m = 0.3 \cdot 258.62 = 77.58 \text{ m}^3/h$$

FIGURA 2. PERFIL CANAL DE ENTRADA

### 2.3. CANAL DE ENTRADA

Para calcular la altura del agua, se partirá de las siguientes características:

TABLA 3.DATOS DE PARTIDA PARA EL DISEÑO DEL CANAL DE ENTRADA



Datos iniciales	Símbolo	Valor
Pendiente canal	$\alpha$	0,005
Ancho canal (m)	W	0,5
Caudal mínimo ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$Q_{\min}$	0,0215
Caudal máximo ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$Q_{\max}$	0,1796
Coefficiente rugosidad hormigón	C	0,014
Número de líneas	n	2

Fórmula de Manning:

$$v = \frac{1}{n} \cdot R_H^{2/3} \cdot \alpha^{1/2}$$

Será necesario determinar el valor del radio hidráulico ( $R_H$ ):

$$R_H = \frac{S_{\text{canal}}}{P_{\text{mojado}}} = \frac{W \cdot A}{2 \cdot A + W}$$

Siendo A la altura del agua en metros.

Y formulando la velocidad de paso del agua (v) en función de la altura del canal:

$$v_{\max} = \frac{Q_{\max}}{S_{\text{canal}}} = \frac{Q_{\max}}{W \cdot A}$$

$$v_{\min} = \frac{Q_{\min}}{S_{\text{canal}}} = \frac{Q_{\min}}{W \cdot A}$$

Sustituyendo el radio hidráulico y la velocidad de paso del agua, se llega a la siguiente expresión, donde se determinará la altura máxima del agua en el canal ( $A_{\max}$ )

$$\frac{Q_{\max}}{W \cdot A_{\max}} = \frac{1}{n} \cdot \frac{W \cdot A_{\max}^{2/3}}{2 \cdot A_{\max} + W} \cdot \alpha^{1/2}$$

$$\frac{0.18}{0.5 \cdot A_{\max}} = \frac{1}{0.014} \cdot \frac{0.5 \cdot A_{\max}^{2/3}}{2 \cdot A_{\max} + 0.5} \cdot 0.005^{1/2}$$

$$A_{\max}=0.276\text{m}$$

$$S_{\text{Canal}}=0.138\text{m}^2$$

Y también se puede calcular la velocidad de paso de agua máxima

$$v_{\max}=\frac{Q_{\max}}{W \cdot A}=\frac{0.18}{0.12655}=1.30 \text{ m/s}$$

Con estos parámetros, se diseñará el canal, ahora será necesario calcular la velocidad mínima que tendrá el agua.

Realizando la misma operación pero en este caso aplicando el caudal mínimo, se llega a la siguiente expresión, donde se determinará la altura mínima del agua en el canal ( $A_{\min}$ )

$$\frac{Q_{\min}}{W \cdot A_{\min}}=\frac{1}{n} \cdot \frac{W \cdot A_{\min}^{2/3}}{2 \cdot A_{\min}+W} \cdot \alpha^{1/2}$$

$$\frac{0.0137}{0.5 \cdot A_{\min}}=\frac{1}{0.014} \cdot \frac{0.5 \cdot A_{\min}^{2/3}}{2 \cdot A_{\min}+0.5} \cdot 0.005^{1/2}$$

$$A_{\min}=0.0635 \text{ m}$$

Y también se puede calcular la velocidad de paso de agua máxima

$$v_{\min}=\frac{Q_{\min}}{W \cdot A}=\frac{0.18}{0.12655}=0.69 \text{ m/s}$$

La velocidad mínima en el canal debe ser mayor de 0.5 m/s para evitar la sedimentación de sólidos en la base del canal.

La velocidad máxima en el canal debe ser inferior a 1.8 m/s para evitar la abrasión del material que constituye el canal por una excesiva velocidad.

TABLA 4. PARAMETROS CALCULADOS EN EL DISEÑO DEL CANAL DE ENTRADA

Parámetros calculados	Símbolo	valor
Altura del agua máxima (m)	$A_{\max}$	0.2760
Sección del canal ( $\text{m}^2$ )	$S_{\text{canal}}$	0.1380
Velocidad máxima de paso por el canal (m/s)	$v_{\max}$	1.30
Altura mínima del agua (m)	$A_{\min}$	0.0635
Velocidad mínima de paso por el canal (m/s)	$v_{\min}$	0.69

## 2.4. SISTEMA DE BOMBEO

Para el cálculo de la potencia y por tanto, selección de la bomba sería necesario conocer el proceso entero y sus pérdidas de carga, al no ser posible conocer todo el proceso ya que no forma parte de este proyecto se asume una pérdida de carga total de 7m, que es un valor intermedio de las pérdidas de carga habituales en las EDAR. Por lo tanto, al estimar una pérdida de carga, no se considerará necesario el cálculo de la pérdida de carga de los equipos

### 2.4.1. CALCULO DE LA POTENCIA DE LA BOMBA

Datos iniciales	Símbolo	Valor
Carga total del sistema(m)	$h_s$	7
Aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )	$g$	9.81
Rendimiento de la bomba (%)	$\eta$	85
Caudal máximo por línea	$Q_{maxlinea}$	0.0898

Para calcular la potencia se aplica la siguiente formula

$$Potencia = \frac{g \cdot h_s \cdot Q}{\eta} = \frac{9.81 \cdot 7 \cdot 0.0898}{0.85} = 7.08KW$$

### 2.4.2. ELECCIÓN DE LA BOMBA

La bomba que se seleccione deberá ser capaz de impulsar un caudal 323 m<sup>3</sup>/h a una altura de 7 metros.

La bomba seleccionada es de la empresa Sulzer, la gama ABS XFP y se ha seleccionado del catálogo de los anexos la bomba 201G.

La estación de bombeo contará con 3 bombas (2+1) siendo 2 para impulsar el caudal por cada línea y la otra de reserva.

Se equiparán con variadores de frecuencia para optimizar el consumo energético ya que los caudales tienen un intervalo de variación muy amplio.

Las características técnicas vendrán determinadas en el punto 5 del anexo “especificaciones técnicas de equipos”.

## 2.5. DESARENADOR-DESENGRASADOR

Para realizar el diseño del desarenador-desengrasador se ha considerado el diámetro mínimo de la arena (D) a eliminar es mayor de 0.20mm ya que este parámetro debe oscilar entre 0.15 y 0.30m.

A partir de la tabla obtenida en el “manual de diseño de estaciones depuradoras de aguas residuales” de Aurelio Hernández se puede obtener la viscosidad y la densidad del agua a diferentes temperaturas.

TABLA 5. RELACION TEMPERATURA, DENSIDAD Y VISCOSIDAD DINÁMICA

Temperatura (°C)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Viscosidad dinámica ·10 <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> /s)
0	0.99987	1.7923
2	0.99987	1.6741
4	1.00000	1.5676
6	0.99997	1.4726
8	0.99998	1.3874
10	0.99973	1.3101
12	0.99952	1.2396
14	0.99927	1.1756
16	0.99897	1.1168
18	0.99862	1.0618
20	0.99823	1.0105
22	0.99780	0.9629
24	0.99733	0.9186
26	0.99681	0.8774
28	0.99626	0.8394
30	0.99568	0.8039

Para una temperatura de 20°C, la densidad será 998.23 kg/m<sup>3</sup> y la viscosidad cinemática de  $1.0105 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s.

Los parámetros que se han predeterminado han sido:

TABLA 6. DATOS DE PARTIDA PARA EL DISEÑO DEL DESARENADOR-DESENGRASADOR

Datos iniciales	Símbolo	Valor
Caudal máximo por línea(m <sup>3</sup> /s)	$Q_{max\,línea}$	0.0898
Temperatura agua (°C)	T	20
Viscosidad cinemática (m <sup>2</sup> /s)	$\mu$	$1.01 \cdot 10^{-6}$
Densidad agua (g/m <sup>3</sup> )	$\rho$	0.9982
Densidad de la partícula (g/m <sup>3</sup> )	$\rho_p$	2.650
Diámetro partícula a eliminar (m)	Dp	$2 \cdot 10^{-4}$
Líneas		2

En la velocidad de caída intervienen dos parámetros fundamentales, la dimensión de las partículas y la temperatura del agua.



A partir de la ecuación de Bloodgood se puede obtener la velocidad crítica de arraste de la partícula depositada ( $v_h$ ) para que las partículas de diámetro mayor de 0.20mm sedimenten y no sean arrastradas.

$$v_h = \sqrt{230 \cdot (\rho_p - 1) \cdot D} = \sqrt{230 \cdot (2.650 - 1) \cdot 0.2 \cdot 10^{-3}} = 0.275 \text{ m/s}$$

En la práctica, para evitar los ensayos en condiciones reales, para determinar la velocidad de caída para un tipo de partícula determinado se pueden tomar como base los datos que aporta el libro de “Depuración y desinfección de aguas residuales” de Aurelio Hernández Muñoz, que son válidos en sedimentación libre para partículas de arena de densidad 2.65 g/m<sup>3</sup>

**TABLA 7. DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE CAIDA**

<b>D (cm)</b>	<b>0.005</b>	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>	<b>0.03</b>	<b>0.04</b>	<b>0.05</b>	<b>0.1</b>	<b>0.2</b>	<b>0.3</b>	<b>0.5</b>	<b>1</b>
<b><math>v_c</math> cm/s</b>	0.2	0.7	2.3	4.0	5.6	7.2	15	27	35	47	74
<b><math>v_c'</math> cm/s</b>	0	0.5	1.7	3.0	4.0	5.0	11	21	26	33	-
<b><math>v_h</math> cm/s</b>	15	20	27	32	38	42	60	83	100	130	190

Siendo:

- Velocidad de sedimentación para un fluido de velocidad horizontal nula ( $v_c$ )
- Velocidad de sedimentación para un fluido de velocidad horizontal ( $v_c'$ )

A partir de la velocidad de arrastre de la partícula depositada obtenida con la ecuación de Bloodgood se puede asumir que se puede hacer lectura de la tabla anterior para el diámetro de partícula determinado, por lo que para un diámetro de 0.02cm las velocidades se presentan en la siguiente tabla

**TABLA 8. VELOCIDADES DE SEDIMENTACION DEL DESARENADOR-DESENGRASADOR**

<b>Parámetros calculados</b>	<b>Símbolo</b>	<b>valor</b>
<b>Velocidad de sedimentación para un fluido de velocidad horizontal nula (m/s)</b>	$v_c$	0.024
<b>Velocidad de sedimentación para un fluido de velocidad horizontal (m/s)</b>	$v_c'$	0.017
<b>Velocidad crítica de arraste de la partícula depositada (m/s)</b>	$v_h$	0.27

#### 2.5.1. SECCIÓN TRANSVERSAL

Tomando los siguientes valores de proporcionalidad recomendados por motivos de explotación, condiciones de pared y formación de líneas de corrientes se fija la siguiente sección transversal:

FIGURA 3. SECCIÓN TRANSVERSAL DEL DESARENADOR-DESENGRASADOR

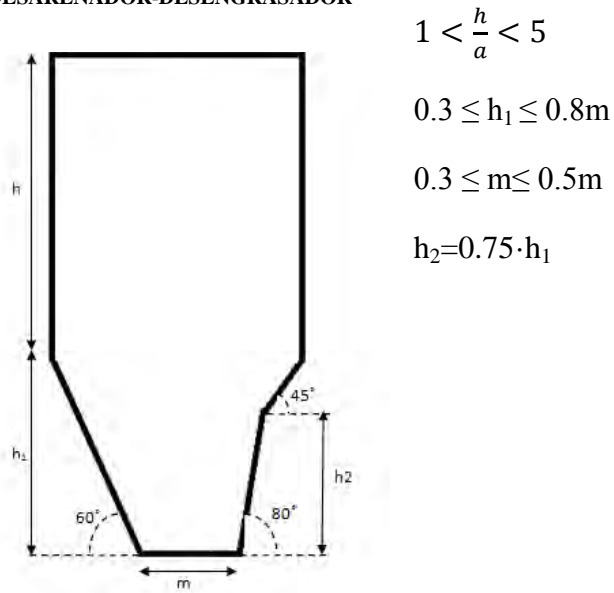


TABLA 9. DATOS DE PARTIDA PARA EL DISEÑO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL DESARENADOR-DESENGRASADOR

Datos iniciales	Símbolo	Valor
Caudal máximo por línea(m <sup>3</sup> /s)	$Q_{max\,linea}$	0.0898
(m)	h1	0,5
(m)	m	0,4
	h/a	3
Velocidad crítica de arraste de la partícula depositada (m/s)	$v_h$	0.27

Calculo de la sección transversal (a):

$$S_a = \frac{Q_{max\,linea}}{v_h} = \frac{0.0898}{0.27} = 0.332\text{m}^2$$

Suponiendo una sección cuadrada,  $a=0.576\text{m}$

Tomando los siguientes parámetros,

$$\frac{h}{a}=3; h=3 \cdot a; h=1.729\text{m}$$

$$h_1=0.55\text{m}$$

$$h_2=0.75 \cdot h_1=0.413\text{m}$$

$$m=0.4\text{m}$$

TABLA 10. PARAMETROS DE DISEÑO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL DESARENADOR-DESENGRASADOR

Parámetros calculados	Símbolo	valor
<b>Sección transversal desarenador-desengrasador (m<sup>2</sup>)</b>	$S_a$	0.332
<b>(m)</b>	a	0.576
<b>(m)</b>	h	1.729
<b>(m)</b>	$h_1$	0.55
<b>(m)</b>	$h_2$	0.413
<b>(m)</b>	m	0.4

### 2.5.2. LONGITUD DEL DESARENADOR

TABLA 11. DATOS DE PARTIDA PARA EL DISEÑO DE LA LONGITUD DEL DESARENADOR-DESENGRASADOR

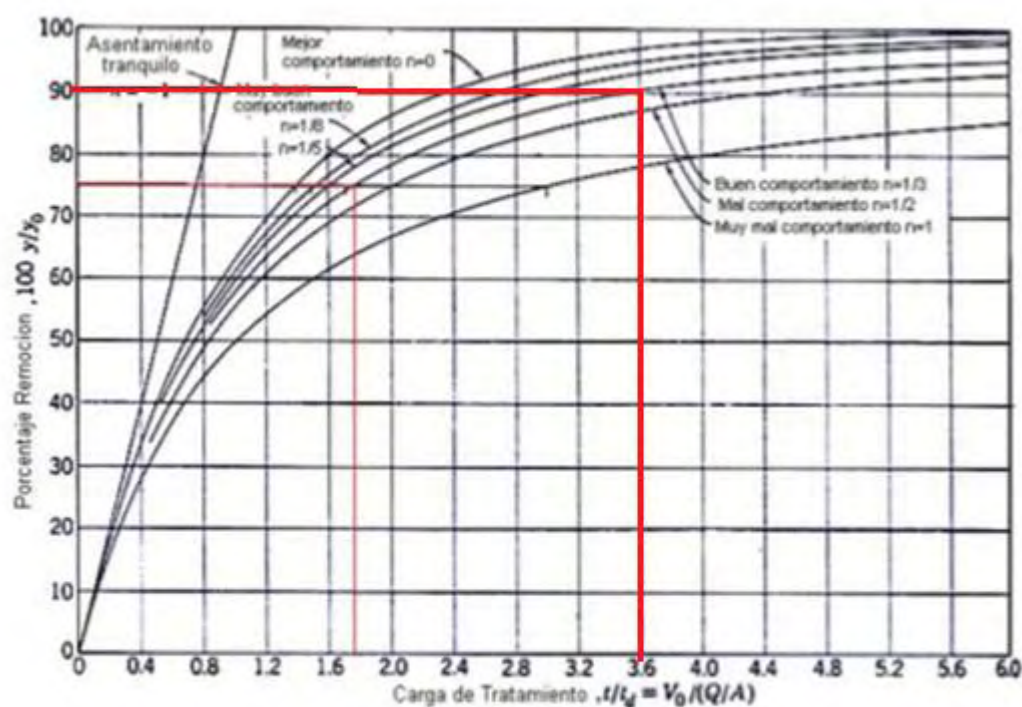
Datos iniciales	Símbolo	Valor
<b>Caudal máximo por línea(m<sup>3</sup>/s)</b>	$Q_{max\,linea}$	0.0898
<b>(m)</b>	h	1.729
<b>Velocidad de sedimentación para un fluido de velocidad horizontal nula (m/s)</b>	$v_c$	0.024
<b>Porcentaje de remoción (o sedimentación) (%)</b>	$\eta$	90
<b>Buen comportamiento</b>	n	1/3

A partir de los cálculos anteriores se puede determinar el tiempo de sedimentación en reposo ( $t_0$ ) que viene dado por el cociente entre la altura útil del desarenador y la velocidad de caída de la partícula en reposo.

$$t_0 = \frac{h}{v_c} = \frac{1.729}{0.024} = 72.04 \text{ segundos}$$

A partir de las curvas de Hazen se puede obtener el rendimiento.

FIGURA 4. CURVAS DE HAZEN



A Partir de la gráfica se obtiene que:

$$\frac{t}{t_0} = 3.6$$

$$t = 259 \text{ segundos} = 4 \text{ minutos y } 19 \text{ segundos}$$

Para obtener la longitud del desarenador:

$$L = t \cdot v_h = 5.22 \text{ m}$$

TABLA 12. PARAMETROS CALCULADOS PARA DETERMINAR LA LONGITUD DEL DESARENADOR-DESENGRASADOR

Parámetros calculados	Símbolo	valor
Tiempo de sedimentación en reposo (s)	$t_0$	72.04
Tiempo de sedimentación (s)	$t$	259
Longitud del desarenador-desengrasador(m)	$L$	5.22